



**Instituto Politécnico de Viana do Castelo**  
**Escola Superior Agrária de Ponte de Lima**

**Influência do fosfato de Gafsa, da correcção orgânica e da  
reacção do solo, na produtividade da alface e da couve repolho  
no Modo de Produção Biológico**

**Dissertação**  
**Mestrado em Agricultura Biológica**

**José Manuel Rodrigues Monteiro**

**Ponte de Lima, Novembro 2011**





**Instituto Politécnico de Viana do Castelo**  
**Escola Superior Agrária de Ponte de Lima**

**Influência do fosfato de Gafsa, da correcção orgânica e da  
reacção do solo na produtividade da alface e da couve repolho  
no Modo de Produção Biológico**

**Dissertação**  
**Mestrado em Agricultura Biológica**

**José Manuel Rodrigues Monteiro**

**Orientador: Professor Doutor Luís Miguel Cortêz Mesquita de Brito**

**Ponte de Lima, Novembro 2011**



As doutrinas expressas  
neste trabalho são da  
exclusiva responsabilidade  
do autor.



Aos meus pais, irmão,

aos meus filhos,

Matilde e Gonçalo.





## ÍNDICE

ÍNDICE.....	i
AGRADECIMENTOS .....	v
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS .....	xi
LISTA DE QUADROS .....	xiii
LISTA DE FIGURAS .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Agricultura biológica .....	2
1.3. Gestão da fertilidade do solo .....	4
1.4. Gestão da MO do solo .....	5
1.4.1. Importância da matéria orgânica .....	5
1.4.2. Compostagem e utilização de correctivos orgânicos .....	6
1.5. Azoto e fósforo no solo.....	9
1.5.1. Azoto no solo .....	9
1.5.2. Fósforo e a sua mobilidade no solo.....	10
1.6. Mineralização e imobilização do azoto.....	13
1.7. Volatilização e lixiviação do azoto .....	15
1.8. Azoto e fósforo na planta.....	17
1.8.1. Azoto na planta.....	17
1.8.2. Fósforo na planta.....	19
1.9. Fertilizantes.....	19
1.9.1. Fertilizantes azotados .....	20
1.9.2. Fertilizantes fosfatados.....	20
1.9.3. Correctivos orgânicos.....	21
1.9.4. Correctivos minerais alcalinizantes.....	22
1.10. A cultura da alface .....	23
1.10.1. Morfologia.....	25
1.10.2. Desenvolvimento e exigências edáfo-climáticas.....	25
1.10.3. Instalação da cultura .....	26

1.10.4. Fertilização .....	27
1.11. A cultura de couve repolho .....	28
1.11.1. Morfologia .....	30
1.11.2. Desenvolvimento e exigências edáfo-climáticas .....	30
1.11.3. Instalação da cultura .....	31
1.11.4. Fertilização .....	32
1.12. Objectivos do trabalho .....	33
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	34
2.1. Delineamento experimental e fertilizantes utilizados .....	34
2.2. Ensaio da alface .....	36
2.2.1. Instalação da cultura de alface .....	36
2.2.2. Preparação dos vasos e transplantação .....	37
2.2.3. Preparação das plantas de viveiro, composto e solo para análise .....	38
2.2.4. Cuidados, regas e tratamentos fitossanitários .....	39
2.2.5. Colheita da alface .....	40
2.3. Ensaio da couve repolho .....	41
2.3.1. Instalação da couve repolho .....	41
2.3.2. Transplantação e preparação dos vasos .....	41
2.3.3. Preparação das plantas de viveiro, solo e composto para análise .....	42
2.3.4. Cuidados, regas e tratamentos fitossanitários .....	43
2.3.5. Colheita da couve repolho .....	44
2.4. Colheita de amostras e métodos de análise laboratoriais .....	44
2.4.1. Análise das plantas .....	44
2.4.2. Análise do solo e do composto .....	45
2.5. Taxa de mineralização .....	47
2.6. Análise estatística .....	47
3. RESULTADOS .....	48
3.1. Ensaio da cultura da alface .....	48
3.1.1. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas .....	48
3.1.2. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface .....	49
3.1.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes .....	52
3.1.4. Teores e acumulação de nutrientes nas raízes da alface .....	53
3.1.5. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes nas folhas e nas raízes .....	55

3.1.6. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes .....	57
3.1.7. Taxa de mineralização.....	57
3.2. Ensaio da cultura de couve repolho .....	57
3.2.1. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas .....	57
3.2.2. Teores e absorção de nutrientes nas folhas da couve repolho.....	59
3.2.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes.....	63
3.2.4. Teores e absorção de nutrientes nas raízes da couve repolho .....	64
3.2.5. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes nas folhas e nas raízes .....	67
3.2.6. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes .....	68
3.2.7. Taxa de mineralização.....	69
3.3. Teores de nutrientes nas folhas e nas raízes das plântulas da alface e da couve repolho .....	70
4. DISCUSSÃO .....	72
4.1. Ensaio da alface .....	72
4.1.1. Peso fresco da alface .....	72
4.1.2. Absorção de nutrientes .....	74
4.1.3. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes .....	76
4.1.4. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes .....	76
4.1.5. Taxa de mineralização.....	77
4.2. Ensaio da couve repolho .....	77
4.2.1. Peso fresco da couve repolho .....	77
4.2.2. Absorção de nutrientes .....	79
4.2.3. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes .....	81
4.2.4. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes .....	82
4.2.5. Taxa de mineralização.....	83
5. CONCLUSÕES .....	84
5.1. Cultura da alface .....	84
5.2. Cultura da couve repolho .....	84
BIBLIOGRAFIA .....	86



## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer a amizade e camaradagem de todos os meus colegas de mestrado sem exceção, em particular ao colega Henrique que desde da primeira hora esteve no incentivo para levar a bom termo esta exigente e estimulante tarefa.

Ao Eng.º Virgílio, Eng.º Durão, e às Senhoras Glória pelo auxílio primordial que disponibilizaram neste trabalho, o meu agradecimento.

Aos professores deste mestrado, mas em especial aos Professores Doutores Isabel Mourão, Luísa Moura, Raul Rodrigues e José Pedro Araújo pelo estímulo e entusiasmo que sempre transmitiram, não esquecendo a competência que colocaram na edificação do Mestrado em Agricultura Biológica.

Um agradecimento especial ao meu orientador Professor Doutor Miguel Brito pela forma desprendida, exigente e sempre disponível com que sempre colocou ao meu dispor, a sua competência técnica e sobretudo científica. O Professor Miguel Brito fez-me relembrar conhecimentos que a rotina do trabalho fez esquecer, acrescentou-me saberes, mas fundamentalmente ressuscitou-me o prazer do saber. Para além do homem de ciência, fica o amigo para a vida que resta.

A todos o meu muito obrigado.



## RESUMO

Avaliaram-se os efeitos da aplicação de fertilizantes certificados para o modo de produção biológico (MPB) no crescimento da alface e da couve repolho em vasos com o objectivo de contribuir para a melhoria das recomendações de fertilização no MPB. As experiências foram realizadas com quatro blocos casualizados e doze tratamentos resultantes da estrutura factorial entre três factores: (i) fosfato de Gafsa com 2 níveis (0 e 200 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>); (ii) Nutrimais (compostado de resíduos orgânicos urbanos separados na origem) com 3 níveis (0, 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>); e (iii) calcário com 2 níveis (0 e 8 t ha<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> equivalente).

As doses crescentes de Nutrimais contribuíram para aumentar substancialmente a produtividade da alface, provavelmente em consequência do elevado teor de N mineral presente neste compostado. Verificou-se uma interacção de primeira ordem entre o calcário e o fosfato de Gafsa, uma vez que a produção não aumentou com a aplicação do calcário quando se aplicou fosfato. A acumulação dos macronutrientes principais aumentou nas folhas das plantas de alface produzidas com fosfato ou com Nutrimais, enquanto com a aplicação de calcário apenas a acumulação de N aumentou significativamente. Concluiu-se que é recomendável a aplicação deste compostado para a cultura de alface no MPB e que a recomendação da dose de P depende da acidez do solo e da recomendação da calagem.

O peso fresco da couve aumentou com a aplicação de qualquer dos fertilizantes. Apesar do composto não estar bem maturado não foi fitotóxico. Pelo contrário, os aumentos mais significativos de produção verificaram-se com a aplicação das doses crescentes de composto, provavelmente em consequência do seu elevado teor de N mineral. O efeito do calcário e do fosfato na produção de couve foi mais evidente quando não se aplicou composto. Uma das limitações no crescimento da couve repolho no solo sem calcário poderá ter-se devido ao facto da acidez do solo diminuir a solubilidade do P. No entanto, mesmo com aplicação de calcário, a resposta da couve à aplicação de fosfato foi claramente positiva. O teor de N nas folhas aumentou significativamente com a aplicação de fosfato e de calcário, e com as doses crescentes de composto. Relativamente aos restantes nutrientes nas folhas, a aplicação de fosfato aumentou o teor de P e o calcário aumentou o teor de Ca. A acumulação de N aumentou com a aplicação de todos os fertilizantes enquanto a acumulação de P e K aumentou apenas com a aplicação de fosfato e com a aplicação de composto até 15 t ha<sup>-1</sup>. O teor de nutrientes foi mais elevado nas folhas do que nas raízes excepto para o Mg e o Fe. A distribuição do N, P, K e Ca entre as

folhas e as raízes foi realizada em benefício das folhas, mas em menor expressão para o P e o Ca em comparação com o N e o K. Conclui-se que a aplicação destes fertilizantes deve ser recomendada para aumentar a absorção de nutrientes e a produtividade da couve repolho.

**Palavras-chave:** *azoto, calcário, compostado, fósforo, mineralização*



## ABSTRACT

We assessed the effects of fertilizers certified for organic agriculture (OA) on lettuce and cabbage growth in pots to improve fertilization recommendations for OA. The experiments were set up with four randomized blocks and twelve treatments resulting from the factorial structure of three factors: (i) Gafsa phosphate with 2 levels (0 and 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>), (ii) Nutrimais (composted source separated municipal organic waste) with three levels (0, 15 and 30 t ha<sup>-1</sup>) and (iii) limestone with two levels (0 and 8 t ha<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub> equivalent).

The increasing rates of Nutrimais contributed to substantially increase lettuce yield, probably because of high mineral N content present in this compost. There was a first order interaction between the limestone and Gafsa phosphate because lettuce yield has not increased with lime when phosphate was also applied. N, P and K accumulation increased in lettuce shoots produced with phosphate or Nutrimais, but only the accumulation of N was significantly increased with liming. Therefore, the application of this type of compost should be recommended for organic lettuce and the recommendation of the P should depend on soil acidity and liming recommendation.

The fresh weight of cabbage increased with the application of any fertilizer. Despite not being well-matured the compost was not phytotoxic. Rather, the most significant increases in cabbage yield occurred with the application of increasing rates of compost, probably due to its high mineral N content. The effect of lime and phosphate on cabbage yield was stronger when compost was not applied. One of the limitations on the growth of cabbage in soil without lime may have been reduced P availability due to soil acidity. However, even with lime application, the response of cabbage to the application of phosphate was clearly positive. The N content in leaves increased significantly with the application of phosphate and lime, and with increasing compost rates. For the remaining nutrients in the leaves, the application of phosphate increased P uptake whereas lime increased Ca uptake. N accumulation increased with the application of all fertilizers while the accumulation of P and K increased only with the application of phosphate and the application of compost up to 15 t ha<sup>-1</sup>. Nutrient contents in leaves were higher than nutrient contents in roots except for Fe and Mg. Partitioning of N, P, K and Ca between leaves and roots was held for the benefit of the leaves, but to a lesser extent for P and Ca, compared to N and K. The application of these fertilizers should be recommended to enhance cabbage yield and nutrient uptake.

**Key-words:** *compost, limestone, mineralization, nitrogen, phosphorus*

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIMBOLOS

AB – Agricultura biológica

AC – Agricultura convencional

Al – Alumínio

C – Carbono

Ca – Cálcio

$\text{Ca}^{++}$  - Ião cálcio

CBPA – Código das boas práticas agrícolas

CE – Condutividade eléctrica

$\text{CO}_2$  – Dióxido de carbono

C/N – Razão carbono/azoto

C/P – Razão carbono/fósforo

CTC – Capacidade de troca catiónica

EDM – Entre-Douro e Minho

Fe – Ferro

FSC – Fracção sólida de chorume

GEE – Gases de efeito de estufa

H (%) – teor de humidade em Percentagem

$\text{H}_2\text{O}$  – Água

$\text{HPO}_4^{--}$  - Ião hidrogenofosfato (ortofosfato secundário)

$\text{H}_2\text{PO}_4^-$  - Ião dihidrogenofosfato (ortofosfato primário)

K – Potássio

$\text{K}^+$  - Ião potássio

$\text{K}_2\text{O}$  – Óxido de potássio

KCl – Cloreto de potássio

Mg – Magnésio

$\text{Mg}^{++}$  - Ião magnésio

Mn – Manganésio

MO – Matéria orgânica

MPB – Modo de produção biológico

MPC – Modo de produção convencional

MS (%) - teor de matéria seca em Percentagem

MDS – Menor diferença significativa

N – Azoto

N<sub>2</sub> – Azoto molecular

Na<sup>+</sup> - Ião sódio

NADH - Nicotinamida adenina dinucleótido hidreto

N/Ca – Razão azoto/cálcio

N/Fe – Razão azoto/ferro

NH<sub>3</sub> – Amoníaco

N/K – Razão azoto/potássio

N/Mg – Razão azoto/magnésio

N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - Azoto amoniacal

NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - Ião nitrito

NW - Noroeste

N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - Azoto nítrico

N/P – razão azoto/fósforo

O<sub>2</sub> – Oxigénio elementar

P – Fósforo

PF – Peso fresco

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – Pentóxido de fósforo

PS – Peso seco

RSU – Resíduos sólidos urbanos

S – Enxofre

SAU – Superfície agrícola utilizável

SC – Suspensão concentrada

ZV1 – Zona vulnerável 1 (aquífero livre entre Esposende e Vila de Conde)

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.1.</b> Área e número de horticultores em MPB do EDM relativamente ao total: anos de 2004 a 2008.....	3
<b>Quadro 1.2.</b> Classificação dos fertilizantes orgânicos de acordo com os teores mínimos, percentagem em peso do produto comercial para classificação enquanto adubo.....	20
<b>Quadro 1.3.</b> Composição média das folhas da alface: valores expressos por 100 g de parte comestível.....	25
<b>Quadro 1.4.</b> Temperaturas para a cultura da alface.....	26
<b>Quadro 1.5.</b> Exportações da alface de acordo com os respectivos autores.....	27
<b>Quadro 1.6.</b> Recomendação ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de fertilização de macronutrientes principais para a cultura da alface.....	28
<b>Quadro 1.7.</b> Composição média das folhas de couve de repolho: valores expressos por 100 g de parte comestível.....	29
<b>Quadro 1.8.</b> Temperaturas para a cultura da couve repolho.....	31
<b>Quadro 1.9.</b> Exportações da couve repolho.....	33
<b>Quadro 1.10.</b> Recomendação ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) de fertilização de macronutrientes principais para a cultura da couve repolho.....	33
<b>Quadro 2.1.</b> Características do solo e do compostado no ensaio da alface (média e desvio padrão (DP)).....	46
<b>Quadro 2.2.</b> Características do solo e do composto no ensaio de couve repolho (média e desvio padrão (DP)).....	46
<b>Quadro 3.1.</b> Teores de nutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$ ) nas folhas da alface.....	50
<b>Quadro 3.2.</b> Teores de nutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$ ) nas raízes da alface.....	54
<b>Quadro 3.3.</b> Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas folhas de alface para o conjunto de tratamentos.....	56
<b>Quadro 3.4.</b> Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas raízes da alface para o conjunto de tratamentos.....	56
<b>Quadro 3.5.</b> Razão entre o teor de nutrientes nas folhas e nas raízes da alface para o conjunto de tratamentos.....	57
<b>Quadro 3.6.</b> Teores de nutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$ ) nas folhas da couve repolho.....	61
<b>Quadro 3.7.</b> Teores de nutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$ ) nas raízes da couve repolho.....	65
<b>Quadro 3.8.</b> Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas folhas da couve repolho para o conjunto de tratamentos.....	67

<b>Quadro 3.9.</b> Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas raízes da couve repolho para o conjunto de tratamentos.....	68
<b>Quadro 3.10.</b> Razão entre o teor de nutrientes nas folhas e nas raízes da couve repolho para o conjunto de tratamentos.....	68
<b>Quadro 3.11.</b> Teores de nutrientes nas folhas e nas raízes das plântulas de alface e da couve repolho.....	70
<b>Quadro 3.12.</b> Peso fresco (PF) nas folhas da alface para a média de cada um dos tratamentos.....	73

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Localização da estufa utilizada nos ensaios em vasos da alface e couve repolho na ESAPL.....	34
<b>Figura 2.2.</b> Tabuleiro após sementeira da alface.....	37
<b>Figura 2.3.</b> Tabuleiro para preparação de cada tratamento, nos 8 kg de terra a adicionar a cada um dos 48 vasos.....	37
<b>Figura 2.4.</b> Os 4 blocos e respectivos 48 vasos após transplantação da alface.....	38
<b>Figura 2.5.</b> Separação parte aérea/raiz para determinação de peso fresco.....	39
<b>Figuras 2.6.</b> Sequência da colheita da alface em cada tratamento: a) Separação do torrão de terra do vaso; b) separação do solo das raízes; c) lavagem das raízes.....	40
<b>Figura 2.7.</b> Tabuleiro com plantas de couve repolho alguns dias após a emergência.....	41
<b>Figura 2.8.</b> a) Vaso, solo e embalagens com os fertilizantes utilizados no tratamento mais fertilizado e b) aspecto da aplicação do tratamento ( $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , $30 \text{ t ha}^{-1}$ de composto e $8 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário).....	42
<b>Figuras 2.9.</b> Os 4 blocos e respectivos 48 vasos após transplantação da couve repolho...	42
<b>Figura 2.10.</b> Plantas de viveiro tipo de couve repolho.....	43
<b>Figura 2.11.</b> Separação da terra das raízes da couve repolho.....	44
<b>Figura 3.1.</b> Peso fresco e peso seco nas folhas de alface.....	48
<b>Figura 3.2.</b> Teor (%) de matéria seca (MS) nas folhas de alface.....	49
<b>Figura 3.3.</b> Acumulações de nutrientes ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface.....	51
<b>Figura 3.4.</b> Peso fresco e peso seco das raízes da alface.....	52
<b>Figura 3.5.</b> Teor (%) de matéria seca (MS) nas raízes de alface.....	53
<b>Figura 3.6.</b> Acumulações de nutrientes ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas raízes de alface.....	55
<b>Figura 3.7.</b> Peso fresco e peso seco nas folhas da couve repolho.....	58
<b>Figura 3.8.</b> Teor (%) de matéria seca (MS) nas folhas de couve repolho.....	59
<b>Figura 3.9.</b> Acumulações de nutrientes ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas da couve repolho.....	62
<b>Figura 3.10.</b> Peso fresco e peso seco nas raízes da couve repolho.....	63
<b>Figura 3.11.</b> Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes da couve repolho.....	63
<b>Figura 3.12.</b> Acumulações de nutrientes ( $\text{mg planta}$ ) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas raízes da couve repolho.....	66

**Figura 3.13.** Relação entre o teor de azoto (N) e de cálcio (Ca) das folhas e das raízes da couve repolho (\*\*\*( $p < 0,001$ ); ns-não significativo).....69



# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1. Enquadramento**

A necessidade da produção agrícola suprir do ponto de vista quantitativo e qualitativo as necessidades em alimentos da população, exige dos técnicos e agricultores a responsabilidade de desenvolver métodos e práticas de agricultura sustentável.

A agricultura biológica (AB) tem esse propósito, daí o seu desenvolvimento, nos últimos anos no nosso país. A área em Portugal no modo de produção biológico (MPB) representava em 2008, cerca de 7% da Superfície Agrícola Utilizável (SAU) com uma taxa de crescimento médio anual entre os 30% no período de 1993 a 2008. No âmbito do Plano Estratégico Nacional para o Desenvolvimento Rural e da Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável, é imposta para Portugal a meta de 10% da SAU no MPB (Vilão et al., 2010).

A alface e a couve repolho são duas culturas hortícolas com grande importância económica no Noroeste (NW) de Portugal e com forte implementação na agricultura convencional (AC). A produção destas culturas no MPB tem, também, cada vez mais importância, acompanhando o crescimento deste modo de produção agrícola em Portugal. A produção hortícola no MPB tem enorme potencial de crescimento em Portugal continental, dado que em 2008, somente 1,3% da produção vegetal no MPB, veio do sector hortícola (Vilão et al., 2010) e porque existe de facto um aumento do consumo e da procura de produtos oriundos do MPB (Mourão, 2007)

As necessidades de elevadas quantidades de azoto (N) exigida por culturas hortícolas de folha num curto período de tempo, dificulta a sua produção no MPB, porque neste modo de produção não é possível recorrer a adubos azotados de síntese (CE, 2007). Na impossibilidade de recurso a materiais compostados na própria exploração o agricultor tem de recorrer a fertilizantes orgânicos comerciais que disponibilizem nutrientes de forma rápida. No entanto, as taxas de mineralização desses fertilizantes e consequentemente a sua capacidade para disponibilizar os nutrientes têm que ser avaliadas. Entre estes fertilizantes orgânicos, destaca-se o fertilizante Nutrimais para a agricultura biológica produzido e comercializado pela empresa LIPOR e que foi avaliado no presente estudo.

A manutenção dos teores de matéria orgânica, e o seu enriquecimento nos solos utilizados no MPB, torna-se decisivo. Com o decréscimo dos teores de MO (MADRP/DGADR,

2009), donde somente 11% dos solos em Portugal têm teores de MO suficientes para a produção agrícola e cerca de 70,4% dos solos têm um teor de MO considerado baixo, ou seja, inferior a 1% (DGA, 2000), é categórico que este seja um desafio a resolver.

Na grande maioria dos solos de Portugal e para as culturas mais frequentes no nosso país, o fósforo (P) não se encontra disponível em quantidades suficientes, sendo necessário aplicá-lo sob a forma de fertilizante (Santos, 2002), uma vez que somente 57% dos solos portugueses têm o P necessário para a produção agrícola (DGA, 2000). Daí a necessidade de aferir a eficácia na disponibilização de P por parte dos fertilizantes fosfatados certificados para o MPB, como é o caso do fosfato de Gafsa que foi utilizado nos ensaios da alface e da couve repolho.

A reacção do solo na grande maioria dos solos em Portugal (80%) é ácida (Freitas, 1984) e 82,9% dos solos em Portugal têm pH inferior a 5,5 (DGA, 2000). Por esta razão, nesses solos, a aplicação de correctivos minerais alcalinizantes poderá beneficiar a produtividade das culturas, inclusive no MPB que permite a utilização de fertilizantes certificados para corrigir a reacção do solo. Por outro lado, a calagem influencia a disponibilidade de nutrientes de que se destaca o caso particular do P. Por esta razão justifica-se o ensaio com a utilização de um calcário simples neste trabalho para quantificar o efeito da sua aplicação nas culturas de alface e da couve repolho e para identificar que interacções poderão ocorrer entre este fertilizante e os outros dois factores em estudo.

## **1.2. Agricultura biológica**

Na AB não é permitida a utilização de fertilizantes de síntese química e recentemente entrou em vigor em 2009 o Regulamento (CE) 834/2007 (CE, 2007) em substituição do anterior Regulamento CE 2092/91, documento legal que regula a actividade da AB na União Europeia. Este regulamento determina um período de conversão de 2 anos para as culturas anuais (CE, 2007).

Recentemente, em 2008, o International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM), organismo de âmbito mundial para a AB sediada na Alemanha, definiu a mesma como “um sistema de produção que promove a saúde dos solos, ecossistemas, biodiversidade e ciclos adaptados às condições locais em alternativa ao uso de suplementos com efeitos adversos. A agricultura biológica combina tradição, inovação e ciência de modo a ser benéfica para o espaço partilhado, promove relacionamentos justos

assegurando uma boa qualidade de vida a todos os envolvidos” (IFOAM, 2008), a qual, congrega em si mesma, os 4 princípios adoptados pelo IFOAM, pelos quais a AB se baseia: saúde, ecologia, justiça e precaução (Schmid et al., 2008; IFOAM, 2008). As preocupações sobre a saúde humana em relação à ingestão de alimentos levaram a um crescente interesse na qualidade nutricional dos produtos alimentares que ingerimos. Os fertilizantes minerais e os correctivos orgânicos usados na AC e na AB, respectivamente, não só influenciam a produtividade e a qualidade dos vegetais, como influencia igualmente a composição química dos produtos comercializáveis (Sorensen, 1999). Deste modo a AB enquanto modo de produção de alimentos, promove a segurança e a qualidade alimentar, aumenta o sequestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), assegurando maior sustentabilidade ambiental, evita a degradação da qualidade da água e do solo, detendo a degradação da biodiversidade ou mesmo incrementando essa biodiversidade e, do ponto de vista social, pode integrar bem-estar, empregabilidade e desenvolvimento económico em regiões desfavorecidas (Mourão, 2007).

A horticultura também tem acompanhado a evolução positiva da AB em Portugal, com cerca de 1900 produtores em actividade em 2008, representando 7% da AB total no mesmo ano (Vilão et al., 2010). O quadro 1.1. representa o sector hortícola no MPB, no Entre-Douro e Minho (EDM) relativamente ao total de agricultores no MPB entre 2004 e 2008 (INE, 2010).

Quadro 1.1. Área e número de horticultores em MPB do EDM relativamente ao total: anos de 2004 a 2008.

Anos	Área (ha)					Produtores (número)				
	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
Total	165851	212376	215028	233475	212462	1250	1479	1550	1949	1902
Horticultura	535	784	883	960	841	214	268	301	348	327
EDM	-	-	49	54	42	-	-	49	63	56

Fonte: INE, 2010

De acordo com dados do EUROSTAT, a Espanha representa cerca de 17%, a Itália 13%, a Alemanha 12%, o Reino Unido 10%, a França 8% e Portugal 3% da área total em AB dos 7 764 722 ha no MPB dos 27 países da União Europeia (Rohner-Thielen, 2010).

Existem na Europa autores cujos trabalhos contribuem e vão no sentido das vantagens da AB comparativamente à AC. Stolze et al. (2000), Fließbach et al. (2007) e Chirinda et al. (2008) concluíram que a AB contribuiu para a conservação da fertilidade do solo devido a

níveis de MO mais elevados e maior actividade microbiana, níveis inferiores de lixiviação de nutrientes, menores emissões de gases com efeito de estufa (GEE – CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e NH<sub>3</sub>), maiores cuidados com o bem-estar e o respeito pelos animais e alimentos com menores níveis de nitratos e resíduos de pesticidas.

Em Portugal na AB e em concreto na horticultura existem trabalhos neste sector em cujas culturas hortícolas atingiram produtividades similares e mesmo superiores às atingidas na AC (Mourão, 2006; Marreiros, 2008; Barrote, 2009; Barrote, 2010).

### **1.3. Gestão da fertilidade do solo**

Para aumentar a produtividade da alface e da couve repolho no MPB são necessários resultados experimentais que suportem as recomendações de fertilização orgânica, nomeadamente com o objectivo de disponibilizar os nutrientes em quantidades que permitam alcançar as produções desejadas pelo agricultor, de forma que as produtividades destas culturas se possam aproximar das produções em MPC.

Uma gestão eficiente na adição de materiais orgânicos para a fertilização das culturas requer o conhecimento da dinâmica de mineralização de nutrientes, visando optimizar a sincronização da disponibilidade de nutrientes no solo com a necessidade das mesmas, evitando a imobilização durante o período de alta necessidade ou rápida mineralização durante o período de baixa necessidade das plantas (Myers et al., 1994; Handayanto et al., 1997; Tilman et al., 2002; Horwath, 2005), sendo aquele, com grande probabilidade, o maior desafio no MPB.

A gestão da fertilidade do solo em AB, mais do que ser mantida, é preciso que seja aumentada e melhorada, dando prioridade à aplicação de determinadas práticas culturais em MPB tendo como decisivo objectivo a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

A utilização de rotações e consociações apropriadas, com a inclusão de Fabáceas (para fixação de azoto atmosférico) e/ou para sideração e a utilização de compostos certificados para MPB ou ainda o uso de gramíneas no aprisionamento de nutrientes no período das chuvas, são praticas a ter em conta. (Brito, 2007; Ferreira, 2009a). Nas rotações existem culturas melhoradoras como por exemplo as Fabáceas que disponibilizam N e outras exigentes em nutrientes que diminuem o seu teor no solo como a alface e a couve repolho (Brito, 2007).

A utilização dos resíduos das culturas anteriores e dos estrumes de origem animal compostados na própria exploração contribui para melhorar o teor de MO dos solos no MPB, disponibilizando nutrientes necessários às culturas, nomeadamente N (Brito, 2007).

As mobilizações pouco profundas ou mesmo a não mobilização (mantendo o coberto vegetal do solo) poderá conservar a MO do solo (Brito, 2007).

#### **1.4. Gestão da MO do solo**

##### **1.4.1. Importância da matéria orgânica**

Um teor elevado de MO do solo é fundamental no MPB, tendo como objectivo melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, cuja finalidade é otimizar a produção vegetal. Este aspecto é ainda mais importante no MPB do que no MPC, uma vez que a fertilização com N mineral não é permitida no MPB (CE 2007), uma vez que o grande problema em sistemas de agricultura sustentáveis é o declínio contínuo da MO do solo para níveis muito baixos para fins agrícolas (Laudicina et al., 2011). Uma gestão bem sucedida da fertilidade do solo pode proporcionar no MPB uma produtividade e uma qualidade dos produtos superior aos obtidos no MPC (Horwath, 2005), e de forma que, o modo de produção seja o mais sustentável, ao longo do tempo (Smith et al., 2011).

Coutinho (2007) considera três fracções na MO do solo e dos correctivos orgânicos em decomposição: resíduos frescos (fracção instável – siderações, dejectos animais frescos e chorume), resíduos em decomposição e compostos humificados ou húmus (fracção estável).

O teor de MO do solo (fracção estável), geralmente estimado através da determinação do carbono orgânico do solo (Rasmussen et al., 1998), é essencial na avaliação da qualidade de um solo (Reeves, 1997) sendo o principal indicador da fertilidade, da qualidade e da produtividade do mesmo. O teor de MO do solo, na generalidade dos solos, varia entre 1 a 6% da massa total da camada arável. Frequentemente 60-80% da MO do solo é constituída por húmus (Varenes, 2003; Santos, 2002), caso não tenha sido incorporada MO fresca, sendo a MO composta, em média, por 55% de C, 5-6% de N e 1% de P e S (Horwath, 2005).

A melhoria qualitativa dos solos e consequente disponibilidade de nutrientes para as culturas em MPB depende da adição de correctivos orgânicos. A aplicação de correctivos

orgânicos a longo prazo não só melhora a qualidade dos solos mas também contribui para a protecção ambiental ao sequestrar C nos solos (Powlson et al., 1998).

Varennnes (2003) e Santos (2002) referiram as características que a MO promove nos solos, com base em estudos de diversos autores, destacando que a MO: protege o solo da radiação solar, do impacto das gotas das chuvas e do vento (protegendo da erosão do vento e da água (Gajdos, 1992)); fornece nutrientes e promove a actividade microbiana do solo; aumenta a capacidade de retenção de água e de adsorção de nutrientes; melhora a estrutura do solo porque contribui para a formação de agregados; melhora a drenagem e a infiltração de água; aumenta o arejamento; reduz a toxicidade pelo alumínio em solos ácidos; estabiliza o pH do solo devido ao seu poder tampão (Makinde et al., 2009); a adição de MO pode aumentar o pH e aumenta a capacidade de troca catiónica (CTC) (Ylmaz et al., 2010).

Os correctivos orgânicos geralmente melhoram a estrutura do solo (Shiralipour et al., 1992; Carpenter-Boggs et al., 2000), a capacidade de infiltração de água e a estabilidade dos agregados (Benbi et al., 1998), facilitando o desenvolvimento radicular das culturas pela diminuição da densidade aparente (Mamman et al., 2007).

A fertilização com estrume de origem animal adiciona bastantes benefícios ao solo (Heitkamp et al., 2011) aumentando os níveis de C orgânico e N total (Christensen, 1996; Weigel et al., 1998).

Considerando que parte da MO se perde na forma de dióxido de carbono devido à respiração dos microrganismos, existe a necessidade de sucessivas e constantes adições de MO para manter o nível existente no solo (Varennnes, 2003).

O incremento do teor de MO aumenta a biomassa microbiana (Wiegel et al., 1998) e a actividade enzimática do solo (Stolze et al., 2000; Gaofer et al., 2009), a diversidade e a actividade biológica do solo (Shiralipour et al., 1992; Carpenter-Boggs et al., 2000), melhorando as propriedades biológicas do solo. A macroflora biológica também é aumentada em virtude da adição de materiais orgânicos (Zaller e Kopke, 2004).

#### **1.4.2. Compostagem e utilização de correctivos orgânicos**

A utilização e incorporação de materiais orgânicos ao solo é fundamental na AB, sendo a compostagem um processo importante para o produtor biológico produzir compostos com diferentes características e os utilizar com o objectivo de fornecer nutrientes às plantas, de

modo que estas possam aumentar a produção, de acordo com as características dos compostos e as respectivas taxas de aplicação (Wong et al., 1999; Coutinho, 2007; Melero et al., 2007), porque os correctivos orgânicos variam muito na sua composição, no grau de estabilização da sua MO e, conseqüentemente na capacidade para libertar nutrientes (Sikora e Szmidt, 2001).

Os compostos aumentam a fertilidade do solo porque fornecem nutrientes para as culturas, aumentam o poder tampão do solo à acidificação, previnem a erosão, reduzem a necessidade de fertilizantes minerais e melhoram as propriedades físicas e químicas do solo (DeLuca e DeLuca, 1997; Yun e Ro, 2009). A compostagem tem sido reconhecida como uma alternativa no processamento de resíduos orgânicos de diferentes origens, incluindo estrumes, lamas, resíduos urbanos e resíduos industriais (Hoitink e Heener, 1993; Kashmanian et al., 2009).

Os objectivos da compostagem determinam a conversão do material orgânico, que não está em condições de ser incorporado no solo, num material admissível de ser utilizado no solo. O termo composto orgânico pode ser aplicado ao produto compostado, estabilizado e higienizado, que é benéfico para a produção vegetal (Zucconi, e Bertoldi, 1987). Brito (2006) divide os materiais utilizáveis na compostagem em duas classes: materiais ricos em carbono (materiais lenhosos como a casca de árvores, as aparas de madeira e o serrim, as podas dos jardins, folhas e agulhas das árvores, palhas e fenos, e papel) e os materiais ricos em azoto (folhas verdes, estrumes animais, urinas, restos de plantas hortícolas, erva, etc.) sendo que os materiais ricos em carbono fornecem a MO e a energia para a compostagem e os materiais azotados aceleram o processo de compostagem, porque o N é necessário para o crescimento dos microrganismos. Brito (2006) acrescenta que a relação carbono/azoto (C/N) (peso em peso) ideal para a compostagem anda à volta dos 30, uma vez que para relações C/N inferiores, o azoto ficará em excesso e poderá ser perdido como amoníaco causando odores desagradáveis e para relações C/N mais elevadas a falta de azoto irá limitar o crescimento microbiano resultando numa compostagem mais lenta. A relação C/N dos materiais a compostar pode ser consultado no Anexo 10 do Código das Boas Práticas Agrícolas (CBPA) (MADRP, 1997). As partículas a compostar devem ter uma dimensão entre 1 a 8 cm e deve-se evitar a utilização de substâncias alcalinizantes, como o calcário ou cinza, porque aumentam o pH, que contribui para perdas de  $\text{NH}_4^+$  por volatilização (Brito, 2007).

Durante a compostagem o crescimento microbiano é promovido pela presença de água, carbono orgânico, oxigénio e nutrientes, na qual, os microrganismos decompõem a MO produzindo  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , calor e húmus. Em AB o processo de compostagem mais utilizado é em pilhas estáticas (ou com volteio após 3 a 4 semanas de compostagem), durante 3 meses, seguida de mais 3 meses para maturação do compostado (Brito, 2006).

Para definir a qualidade do composto usa-se com frequência a sua estabilidade e grau de maturidade, ambos os termos usados frequentemente na literatura como sinónimos (Reinikainen e Herranen, 2001), tendo em atenção que um factor limitante de quantidades excessivas de correctivos orgânicos, designadamente quando não são compostados, ou se encontram pouco maturados, podem resultar problemas de fitotoxicidade provocados por elevados teores de sais ou de  $\text{NH}_4^+$  e problemas de imobilização do N do solo (Brito, 2001; Wong, et al., 1999). Existem indicadores de estabilização dos compostados de acordo com o teor de  $\text{NH}_4^+$  do composto. Zucconi e Bertoldi (1987) propõem o limite de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  MS, acima do qual o composto não está maturado. A razão  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  do composto inferior a 0,5 é indicativa da maturação do compostado como propõem o “Compost Maturity Index” (CCQC, 2001) ou ainda inferior a 1 (Larney e Hao, 2007). O pH do composto pode ser um indicativo do estado de compostagem uma vez que o pH decresce nas primeiras horas até valores próximos de 5 (facilitando o crescimento e a acção de fungos na decomposição da celulose e lenhina) e, aumentando gradualmente até valores de 7 a 8 (Brito, 2007). De outro modo, Jann et al. (1959), por exemplo, propuseram um teste rápido à maturação de materiais orgânicos incubados em condições anaeróbias a  $55^\circ\text{C}$  com base no pH, sendo que no caso do composto se mantivesse alcalino durante 24 horas era considerado como estando suficientemente amadurecido. Harada et al. (1981) referiram que a maturação do composto poderá ser determinada na base da CTC, e que o valor mínimo necessário para assegurar uma maturação aceitável seria de 60 meq por 100 g de composto, com base no material sem cinzas. A nitrificação também terá sido utilizada como conceito para definir o grau de maturação dos compostados, uma vez que Finstein e Miller (1985) enunciaram que, quando surgem durante o processo de compostagem quantidades apreciáveis de nitratos e nitritos, é indicação que o composto está aceitavelmente compostado. A relação C/N tem sido tradicionalmente utilizada como um bom indicador do grau de decomposição dos materiais orgânicos, sendo relações C/N inferiores a 20 indicativas de uma maturação aceitável (Morel et al., 1985).



O N fornecido a partir de compostos depende tanto da disponibilidade inicial de N mineral do composto como da taxa de mineralização do N orgânico a longo prazo (Flavel e Murphy, 2006), ou seja, para além da elevada concentração em N orgânico total, é necessário aumentar a quantidade de N mineral e de N orgânico facilmente mineralizável, para aumentar o interesse dos horticultores pelos compostos como fertilizantes do solo e suprir as necessidades das culturas no MPB (Brito, 2007). No entanto, é importante dizer como refere Lampkin (1990) que o aumento, no longo prazo, dos teores de matéria orgânica no solo é conseguido com a utilização dos materiais bem compostados e não com materiais mais frescos.

As elevadas produtividades obtidas pela AC têm sido muito facilitadas pela aplicação de fertilizantes ricos em N. Pelo contrário, na AB, devido ao teor reduzido de nutrientes disponíveis dos compostos em comparação com os fertilizantes minerais, tornam-se necessárias doses elevadas de compostos para satisfazer as necessidades das culturas em macronutrientes principais. Especialmente se uma elevada produção de matéria seca for esperada em períodos relativamente curtos de crescimento. Por outro lado, um dos desafios no uso continuado de estrumes e compostos como fertilizantes orgânicos está no fornecimento equilibrado de nutrientes às culturas. Por exemplo, ao aplicar os compostos ao solo para satisfazer as necessidades de N pode-se estar a aumentar excessivamente o fornecimento de P. Isto, porque a razão N/P dos compostos é geralmente inferior à razão N/P que resulta da absorção destes dois nutrientes pela maioria das culturas (Eghball, 2002).

## **1.5. Azoto e fósforo no solo**

### **1.5.1. Azoto no solo**

O azoto sendo elemento muito móvel e dinâmico, capaz de ser transformado química e biologicamente através de uma serie de processos que constituem o ciclo do azoto (Cordovil, 2004).

O principal método de aproximação às raízes por parte do azoto é o fluxo de massa, que consiste, no movimento convectivo dos iões em direcção á raiz devido ao fluxo de água, o qual, será consequência, sobretudo da transpiração da planta, logo, este processo tem tendência para ser mais elevado nas épocas de maior calor, quando a solução do solo está

mais provida de nutrientes (Santos, 2002) e é um processo que é muito influenciado pelo teor de água no solo (Varennnes, 2003).

O azoto (N) mineral pode entrar no solo por diversas vias: mineralização da matéria orgânica do solo ou da matéria orgânica incorporada no solo através de resíduos de culturas, estrumes e outros resíduos orgânicos, por deposição por via húmida de N ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$  e N orgânico), absorção foliar de  $\text{NH}_3$  por deposição seca, por fixação simbiótica e não simbiótica de  $\text{N}_2$ , por utilização de adubos minerais, através da água de rega e, eventualmente, *inputs* pelas sementes e exsudados radiculares, sendo retirado do solo por exportação pelas culturas, escoamento superficial e erosão, lixiviação, desnitrificação, volatilização de  $\text{NH}_3$  e de outros gases e adsorção e fixação nos coloides dos solos. O teor de N no solo varia geralmente entre 0,2 e 25 g  $\text{kg}^{-1}$ , sendo os valores mais baixos encontrados em profundidade e os mais elevados em solos orgânicos (Cordovil, 2004).

Do N total do solo, apenas 2 a 5% é N mineral (Cordovil, 2004) e aproximadamente 95 a 98% do azoto total é N orgânico. Ambas as formas, mineral e orgânica, permanecem em equilíbrio dinâmico no solo, sendo a mineralização e imobilização os processos responsáveis por este facto (Santos, 2002).

O  $\text{NO}_3^-$  é a forma de azoto mineral mais absorvida pelas raízes sendo bastante solúvel podendo ser arrastado pelas águas, ou seja, lixiviado, uma vez que sendo de carga negativa não tem fácil retenção física no solo (Santos, 2002).

O  $\text{NH}_4^+$ , o amoníaco, é absorvível pelas plantas e pode ser adsorvido pelos coloides minerais e orgânicos do solo, nos quais, predomina as cargas negativas que lhes permite adsorver iões que apresentem carga positiva, como é o caso do  $\text{NH}_4^+$  (Santos, 2002). A capacidade de adsorção de  $\text{NH}_4^+$  por parte de um solo, depende da presença de MO e minerais de argila principalmente vermiculite e ilite, da concentração de  $\text{NH}_4^+$  na solução do solo, da alternância de processos congelamento/descongelamento e humedecimento/secagem, da presença de catiões nomeadamente o  $\text{K}^+$ , do pH e do teor de MO (Nommik e Vahtras, 1982).

### **1.5.2. Fósforo e a sua mobilidade no solo**

O P é usualmente, a seguir ao N, o macronutriente principal que mais limita a produção vegetal (Varennnes, 2003). Este nutriente pode encontrar-se no solo incorporado na matéria

orgânica e na forma mineral (Santos, 2002), sendo na forma mineral frequentemente adicionado ao solo para aumentar a produção vegetal (Sims et al., 2000).

Os teores de fósforo no solo são geralmente baixos, sendo que o fósforo total nos solos pode representar apenas 1/10 do teor de azoto (Santos, 2002), e 1/20 do teor de potássio, variando entre 50 e 1100 mg P kg<sup>-1</sup> (Varennnes, 2003) e torna-se mais disponível com a reacção do solo entre os valores de pH de 6 a 7 (Santos, 2002).

Ao contrário do N, o P não se volatiliza através dos gases, nem se perde facilmente por lixiviação sendo geralmente adsorvido ou precipitado no solo (Varennnes, 2003).

Nos solos cultivados, apenas 10-20% do P veiculado pelos fertilizantes é absorvido pelas plantas no primeiro ano após a aplicação, em parte porque o P é adsorvido na sua matriz, mas também porque a difusão ocorre apenas a pequena distancia das raízes, sendo o nutriente extraído apenas a partir de um pequeno volume de solo, isto explica porque os agricultores, quando o nível do nutriente é baixo, têm de aplicar quantidades superiores às extraídas anualmente pela cultura (Varennnes, 2003).

A absorção do fósforo tende a ser limitada pelas baixas temperaturas do solo, sendo que a mesma, é feita através das raízes, sob a forma iónica, através do ortofosfato primário (ião dihidrogenofosfato), H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Por outro lado, em situações associadas sobretudo a valores elevados de pH do solo, o ortofosfato secundário (ião hidrogenofosfato), HPO<sub>4</sub><sup>=</sup>, também é absorvido, mas o primeiro em cerca de 10 vezes mais que o segundo (Santos, 2002). Se o pH do solo é inferior a 6 predomina o ião H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, em solos alcalinos predomina o ião HPO<sub>4</sub><sup>=</sup> e para valor de pH 7, a proporção das duas formas é aproximadamente igual (Black, 1968; Varennnes, 2003).

Quando o teor de P disponível é baixo, a biomassa microbiana e as raízes poderão aumentar a produção de fosfatases responsáveis pela mineralização do P (Chabot et al., 1996), no entanto, os fenómenos de mineralização e de imobilização do P são difíceis de prever, porque a transformação e a disponibilidade do P no solo é regulada por factores bióticos e abióticos, através de processos ainda deficientemente esclarecidos na literatura.

Os fertilizantes fosfatados aplicados ao solo rapidamente se tornam indisponíveis, devido à adsorção e formação de compostos pouco solúveis. Por outro lado, o P orgânico pode representar até 80% do total de P no solo (Schachtman et al., 1998) e só se torna disponível após a mineralização por enzimas fosfatases libertadas pelas raízes e microrganismos

(Santos, 2002). A imobilização processa-se através dos microrganismos do solo que utilizam o P para o seu metabolismo, ocorrendo imobilização se a razão carbono/fósforo (C/P) for superior a 300 (Santos, 2002; Varennes, 2003) sendo que a aplicação de P em formas minerais, aumenta a mineralização de P orgânico, pelo aumento da razão C/P (Santos, 2002).

A adsorção ou fixação do fósforo ocorre através de ligações aos coloides (principalmente de argilas), aos óxidos/hidróxidos de alumínio (Al) e ferro (Fe), a coloides amorfos (tipo alofana) e à MO para todos os tipos de pH, (Sample et al., 1980; Santos, 2002).

Nos solos muito ácidos podem ocorrer teores elevados de iões de Al, Fe e Manganésio (Mn) em solução, que reagindo com o P, formam compostos insolúveis, tais como fosfatos de Al, fosfatos de Fe e fosfatos de Mn, respectivamente e precipitam o P em grande extensão (Sample et al., 1980; Varennes, 2003). Em solos alcalinos ocorre precipitação de P com a formação de fosfatos de cálcio insolúveis para pH entre 7 e 8,5 (Santos, 2002; Amer et al., 1991; Sample et al., 1980).

A disponibilidade de P para suprir as necessidades das plantas, tendo em conta o seu carácter pouco móvel ao contrário da grande mobilidade de N (Brady, 1990), pode ser colmatada com a correcção da acidez e da alcalinidade (Gerke e Meyer, 1995; Imas et al., 1997).

As micorrizas arbusculares fornecem às plantas nutrientes, particularmente P e recebem das plantas hidratos de carbono (Smith e Read, 2008). Estas estabelecem relações simbióticas com raízes de mais de 95% das famílias de plantas (Smith e Read, 1997). O uso de micorrizas em horticultura, aumenta a resistência a situações de stress ambiental (Azcon-Aguilar et al., 1994; Morte e Honrubia, 2002). Vila et al. (2008) verificaram num ensaio com aipo, um aumento de peso fresco de 18% das plantas micorrizadas em MPB, em comparação com um aumento de 12% das plantas em MPC, relativamente às plantas controlo. Miranda e Miranda (2003) referiram que a presença de micorrizas maximizou o efeito do correctivo calcário.

A importância das disponibilidades de N e de P regula a colonização das raízes por parte das micorrizas, cuja quantidade foi reduzida somente quando ambos os elementos estavam em concentrações e quantidades suficientes, disponíveis para as plantas (Sylvia e Neal, 1990; Jonhson et al., 2003; Blanke et al., 2005). Blanke et al. (2011), concluíram que as micorrizas melhoram a nutrição das plantas em P mas também em N.

## 1.6. Mineralização e imobilização do azoto

Os resíduos orgânicos incorporados no solo, ou deixados na superfície do solo, sofrem mineralização com intensidade variável, onde os compostos orgânicos solúveis são os de mais fácil e rápida mineralização, influenciando bastante o teor da  $\text{NH}_4^+$  no solo (Cordovil, 2004). A mineralização é mediada por microrganismos e a adição de materiais orgânicos é um dos parâmetros que afectam a actividade microbiana (Carneiro et al., 2007). Para além do carbono, os organismos do solo requerem azoto, enxofre e fósforo, numa proporção respectiva de C:N:S:P de cerca de 100:10:1:1 (Varennnes, 2003).

A incorporação de materiais orgânicos ao solo aumenta a disponibilidade de nutrientes nomeadamente N, P e K (Bayu et al., 2006) dependendo a disponibilidade destes nutrientes do grau de decomposição da MO, da quantidade de MO mineralizada, das propriedades do solo e das condições climáticas (Jarvis et al., 1996; Johnston et al., 2009). Os resíduos das culturas e os correctivos orgânicos adicionados ao solo sofrem transformação pelos organismos do solo sendo uma parte mineralizada fornecendo nutrientes às plantas (N, P, K, Ca, Mg, Fe, etc.), e sendo a parte restante humificada resultando húmus, que corresponde à fracção mais estável da MO (Ferreira, 2009a).

A mineralização dos materiais orgânicos depende da sua composição (por exemplo, da razão C/N), das características físico-químicas (pH, teor de humidade, etc.) e biológicas do solo, e das condições climáticas (temperatura e humidade) (Rees et al., 1993; Rodrigues e Coutinho, 1995; Sims, 1995; Griffin et al., 2002; Kessel e Reeves, 2002).

A mineralização do N orgânico tem várias fases: aminização (através de organismos heterotróficos, bactérias em solo neutro/básico ou fungos em meio ácido), amonificação (executada por organismos heterotróficos, verificando-se libertação de energia e  $\text{NH}_3$  (primeira forma de N mineral), o qual, ao protolizar-se origina azoto amoniacal, o  $\text{NH}_4^+$ ). A nitrificação da amónia é executada por organismos autotróficos em duas fases: a primeira executada pelas *nitrosomonas*, em que o  $\text{NH}_4^+$  é convertido em  $\text{NO}_2^-$  na presença de  $\text{O}_2$  e a segunda fase executada pela *nitrobacterias*, que convertem os nitritos em  $\text{NO}_3^-$  (Santos, 2002). A nitrificação é um processo acidificante e ocorre na presença de oxigénio. Este processo ocorre mais rapidamente com uma temperatura entre os 25-30°C (sendo o processo inibido abaixo de 0°C e acima dos 50°C). A nitrificação é favorecido pela presença de  $\text{NH}_4^+$ , requer a presença de Ca e P para o metabolismo microbiano, solos bem arejados e a reacção do solo ideal é próximo da neutralidade (Boswell et al., 1985; Santos,

2002). Pelo contrário, as baixas temperaturas e o encharcamento do solo diminuem as taxas de nitrificação (Rodrigues e Coutinho, 1995).

O conhecimento das taxas de mineralização tanto dos materiais orgânicos adicionados ao solo como da MO já existente no solo torna-se essencial para uma gestão com sucesso do ciclo de nutrientes no solo de acordo com as necessidades das culturas, sendo pois necessário estimar as taxas de mineralização dos diversos materiais orgânicos e a influência que estes exercem nos processos e nas propriedades do solo (Ambus et al., 2002; Gabrielle et al., 2004; Carneiro et al., 2007), no entanto, as características deste, designadamente a temperatura e a humidade, afectam fortemente as taxas de mineralização (Agehara e Warncke, 2005). Kessel e Reeves (2002), assumiram uma taxa de mineralização de 35% para o estrume no primeiro ano após a sua aplicação ao solo. Brito (2005) refere que na Áustria atribui-se uma taxa de mineralização de 25% do N no primeiro ano dos compostos frescos e Eghball et al. (2002) sugere taxa de 18% para compostos com resíduos de bovinos. Verdonck (1998) refere que a disponibilidade do N no primeiro ano, tendo em conta aplicações de 30 t ha<sup>-1</sup>, seria de 10% a 15%. Amlinger et al. (2003), defendem que o N disponível às culturas varia entre 15 a 20% do N total no primeiro ano de aplicação e nos anos seguintes o N residual é mineralizado à taxa anual de 3 a 8%. Na Dinamarca sugere-se que os compostos de resíduos de bovinos disponibilizam, no segundo ano, cerca de 10% de N, no entanto em Portugal é possível que estes valores sejam mais elevados uma vez que as temperaturas são mais elevadas que nestes países do norte da Europa (Brito, 2005). Em Portugal, especialmente nas regiões meridionais, os Verões quentes e Invernos suaves característicos do clima mediterrâneo, permitem uma elevada actividade dos microrganismos responsáveis pela mineralização durante todo o ano, desde que a humidade do solo não limite o seu rendimento (Gonçalves, 2005). Os coeficientes de mineralização da MO estável do solo são mais lentos na maior parte dos condicionalismos agroclimáticos. Diferentes autores têm referido diferentes taxas de mineralização, como por exemplo, entre 1,5 a 2% (Santos, 2002), de 2 a 3% (Gonçalves, 2005), 2 a 5% (Paul e Clark, 1996), 2 a 3% ao ano (Ferreira, 2009a) ou ainda à taxa de 1 a 3% (MADRP, 1997) para a fracção estável ou húmus da MO do solo. No entanto, é importante referir que uma taxa reduzida da mineralização da matéria orgânica, em sistemas de produção orgânicos, pode aumentar o armazenamento de N (Clark et al., 1998) e reduzir as perdas de N por lixiviação e a poluição das águas subterrâneas (Brandt e Mølgaard, 2001; Poudel et al., 2002).

As características dos materiais orgânicos adicionados ao solo também influenciam a rapidez com que disponibilizam nutrientes nomeadamente N às plantas. O N orgânico é constituído por fracção facilmente mineralizável que fornece nutrientes no curto prazo (por um lado, os detritos vegetais de Fabáceas e chorumes contribuem para rápida disponibilidade de N, por outro lado o estrume de aviário comparado com o de bovino, disponibiliza maior quantidade), e outra fracção resistente à mineralização e contribuindo para o aumento da fertilidade do solo no longo prazo (caso da palha e do feno) (Brito, 2007).

A imobilização do N é um processo inverso da mineralização. Consiste na assimilação de N pelos microrganismos heterotróficos do solo. Ambos os processos ocorrem em simultâneo no solo, onde a imobilização é indispensável à ocorrência da mineralização, uma vez que garante a renovação da MO e a assimilação de nutrientes pelos microrganismos, assegurando assim a sua multiplicação, crescimento e manutenção da biomassa e microflora activa do solo (Cordovil, 2004).

Quando a razão C/N é elevada, ou seja, superior a 30 (caso das palhas dos cereais em que o valor é da ordem de 60-70), é de esperar imobilização de N mineral, nas fases iniciais da transformação da matéria orgânica, onde certamente a cultura instalada irá ter falta de azoto. Se a razão C/N dos materiais orgânicos for da ordem de 20-30, não é de recear imobilização de azoto mineral (Santos, 2001), uma vez que os materiais orgânicos terão N suficiente para os microrganismos e assim mineralização e imobilização do azoto equilibram-se (Tisdale et al., 1985). Se a razão C/N for inferior a 20 (como acontece nas siderações de leguminosas, como é o caso da tremocilha que possui razão C/N de 13), ocorre um aumento do azoto mineral no solo, uma vez que o material orgânico tem N que excede as necessidades dos microrganismos (Santos, 2002; Cordovil, 2004). Os resíduos de origem animal, caracterizados por possuírem baixa razão C/N, são facilmente degradáveis no solo e levam a uma rápida libertação de nutrientes disponíveis para as plantas, especialmente de N, consequentemente, estes resíduos têm sido amplamente utilizados como fertilizantes no MPB para aumentar a disponibilidade de N para as culturas (Teixeira et al., 2010).

### **1.7. Volatilização e lixiviação do azoto**

A volatilização e a lixiviação são dois processos nos quais ocorrem perdas de azoto e que no MPB é importante minimizar.

Em trabalhos sobre lixiviação de N foi assumido que o N arrastado para além da zona radicular das plantas, é irremediavelmente perdido (Karlen et al., 1996; Watson et al., 1993). O estabelecimento de coberto vegetal pode diminuir substancialmente a quantidade de azoto presente no solo no Outono com risco de ser lixiviado (Christian et al., 1992), cuja evidência é igualmente valida no longo prazo (Macdonald et al., 2005), onde certas culturas podem ser usadas para o esgotamento de N nas camadas inferiores do solo, como culturas retentoras de N (Thorup-Kristensen, 2006). O enterramento de leguminosas ou pastagens no solo também podem levar a excesso de N no solo, se o N não for utilizado pela cultura seguinte, pode ser lixiviado durante o Inverno particularmente se os solos forem arenosos e pobres em MO (Kayser et al., 2010), donde nas culturas de Inverno o N lixiviado depende do grau de precipitação, do tipo de solo e da fertilidade dos mesmos (Thorup-Kristensen et al., 2009). A imobilização biológica de N pode ser um bom meio de reter no solo o N potencialmente lixiviável (Rodrigues e Coutinho, 1995).

Os factores que condicionam a extensão das perdas de N por volatilização são o pH (as perdas de N por volatilização aumentam com valores elevados de pH), os elevados teores de carbonato de cálcio, a baixa CTC, a textura do solo arenosa, a temperatura elevada, o teor de humidade (em solos excessivamente húmidos e sobretudo se a temperatura é elevada), a quantidade e tipo de fertilizante (nomeadamente ureia e formas amoniacais se forem aplicados à superfície em especial em solos alcalinos) e a profundidade de aplicação (quando os resíduos orgânicos são decompostos à superfície) (Stevenson, 1986; Rodrigues e Coutinho, 1995). O efeito do pH é crucial na formação da quantidade de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NH}_3$  nas perdas de azoto sob a forma de  $\text{NH}_3$  por volatilização (Gay e Knowlton, 2009) sendo maiores com pH acima de 7,3 e altas temperaturas (Wiederholt e Jonhson, 2005). O  $\text{NH}_3$  é menos solúvel que o  $\text{NH}_4^+$ , sendo rapidamente convertido num gás (Gay e Knowlton, 2009).

A Environmental Protection Agency (EPA), organismo dos Estados Unidos, estima que a produção animal é responsável por 50 a 85% do  $\text{NH}_3$  volatilizado naquele país, sendo certo que o amoníaco pode percorrer centenas de km (Gay e Knowlton, 2009).

A desnitrificação é processo que pode suceder em casos em que os solos fiquem alagados por largos períodos de tempo, na qual, microrganismos anaeróbios (que dispensam o oxigénio atmosférico e utilizam o oxigénio dos nitratos) reduzem o  $\text{NO}_3^-$  a compostos azotados, tais como, o azoto molecular ( $\text{N}_2$ ) e vários óxidos de azoto ( $\text{NO}$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ), que por



serem bastante voláteis, conduzem a perdas de azoto para a atmosfera (Santos, 2002). De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, 2001) o  $\text{N}_2\text{O}$  tem um potencial de aquecimento global (GWP) 296 e 13 vezes superior ao  $\text{CO}_2$  e ao  $\text{CH}_4$  respectivamente, sendo um dos gases responsáveis pela diminuição do ozono da estratosfera e é um precursor do ácido nítrico sendo, por isso, também responsável pela chuva ácida. Santos (2002) acrescenta que a desnitrificação envolve consumo de  $\text{H}^+$ , o que implica a subida do pH. O arejamento do solo é o factor que mais condiciona a desnitrificação, onde baixos teores de  $\text{O}_2$  no solo resultam no incremento da síntese e actividade de enzimas desnitrificantes, restringindo o fornecimento de  $\text{NO}_3^-$ , uma vez que limitam a nitrificação (Rodrigues e Coutinho, 1995). As perdas de natureza física são as que tem maior valor e incluem todas as formas de azoto solúveis em água, (as formas orgânicas de estruturas complexas não são solúveis em água), sendo que para além da drenagem interna ou lixiviação, o azoto pode igualmente perder-se por drenagem externa ou erosão. As perdas químicas dão-se por químio-desnitrificação (fenómeno que ocorre através de reacções em que se encontram envolvidos os nitritos) e por libertação de  $\text{NH}_3$ , sendo que no caso da químio-desnitrificação, as perdas não terão muito significado, por outro lado as perdas de amoníaco tem bastante mais significado, se não houver forma de reter o  $\text{NH}_3$ . As perdas de natureza biológica dão-se essencialmente por desnitrificação (Santos, 2002).

As perdas de N através dos processos de volatilização do  $\text{NH}_3$  e de desnitrificação (redução do  $\text{NO}_3^-$ ) podem ser responsáveis por perdas significativas de N que podem atingir, entre 21-77% (Tiquia e Tam, 2000) ou 16-74% em que a maioria das perdas de N seria causada fundamentalmente pela volatilização de  $\text{NH}_3$  (Raviv et al., 2004).

## **1.8. Azoto e fósforo na planta**

### **1.8.1. Azoto na planta**

O N encontra-se na planta, relativo à matéria seca, em quantidades que vão de 1 a 5% do total e cerca de 40 a 50% do protoplasma das células (Santos, 2002).

A fertilização com N acelera o crescimento vegetativo das plantas (Witzell e Shevtsova, 2004), sendo a baixa disponibilidade de N a condição comum mais limitante da produção primária das plantas (Brandt e Mølgaard, 2001; Cantarero et al., 1997; Witzell e Shevtsova, 2004), de tal modo que durante o período de conversão do MPC para o MPB a

produtividade das culturas podem ser prejudicadas pela falta de N (Berry, et al., 2002; Clark, et al., 1999; Pang e Letey, 2000; Scow et al., 1994).

Nas plantas, o N inorgânico geralmente não é armazenada nas células, mas é rapidamente incorporado em proteínas ou aminoácidos, (Chapin et al., 1990), e faz parte da molécula de clorofila (Santos, 2002).

As plantas absorvem N sobretudo através das raízes, embora também o possam fazer pelas folhas através dos estomas e macroporos da cutícula externa. O N é absorvido pelas raízes sobretudo na forma nítrica e amoniacal e nas folhas pode ser absorvido na forma amídica (Santos, 2002). Do ponto de vista energético as plantas parecem preferir a absorção de  $\text{NH}_4^+$ , uma vez que o  $\text{NO}_3^-$  depois de absorvido tem de ser fortemente reduzido a  $\text{NH}_4^+$ , antes de ser incorporado em compostos orgânicos, processo o qual, consome energia (consumo de duas moléculas de NADH por cada ião de nitrato reduzido) (Tisdale et al., 1985). No entanto, como a amónia se nitrifica rapidamente no solo, e como os nitratos são facilmente solúveis na solução do solo, o N nítrico torna-se frequentemente a forma de N mais absorvida pelas plantas.

Os agricultores costumam usar fertilizantes azotados para aumentar o rendimento das culturas, daí tem como consequência que muitos vegetais e culturas forrageiras acumulam altos níveis de nitrato (Muramoto, 1999). Em particular, vegetais de folhas, como espinafre, aipo, alface que contêm teores de nitrato em níveis significativos (Maynard et al., 1976). Os tecidos de folhas e caule acumulam mais nitrato, seguido pelas raízes (Lorenz, 1978). Dos factores estudados a adubação azotada e a intensidade da luz foram identificados como os principais factores que influenciam os níveis de nitrato nos vegetais (Cantliffe, 1973).

O facto de o N fazer parte da molécula de clorofila faz com que os sintomas de carência possam ser visíveis nas folhas, como é o caso da cultura da alface através do amarelecimento das folhas mais velhas, antes das folhas jovens, fruto da mobilidade deste nutriente (Santos, 2002). Na generalidade das plantas a carência de N manifesta-se por falta de vigor, crescimento reduzido, caules estiolados, folhas pequenas e esparsas, clorose nas folhas mais velhas, senescência prematura e maturação antecipada (Brito, 2007). O excesso de azoto, por outro lado, pode tornar-se igualmente num problema, uma vez que aumenta a área foliar e com ela a superfície disponível para a fotossíntese, aumentando a síntese de glúcidos, que serão convertidos em proteínas e protoplasma e ficarão em menor

proporção para a síntese de paredes celulares e tecidos mecânicos, tornando a planta mais susceptível ao ataque de doenças, pragas e condições climáticas adversas (Santos, 2002). As culturas da alface e couve repolho cultivadas em Portugal no Inverno com elevada adubação azotada e com baixa radiação podem ter uma concentração de nitratos elevada nas folhas por deficiente disponibilidade de carbono fotossintetizado que permita a utilização dos nitratos para a síntese de proteínas (Addiscott e Benjamin, 2004).

### **1.8.2. Fósforo na planta**

O fósforo é um macronutriente importante para a maioria das plantas (Osborne et al., 2002). O P é essencial para as plantas uma vez que entra na composição de compostos fundamentais, tais como, NADPH, adenosina-trifosfato (ATP), adenosina-difosfato (ADP) e ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). O fósforo é simultaneamente componente importante e estrutural dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), fosfoproteínas e fosfolípidos (Santos, 2002; Elser et al., 1996; Sinclair e Vadez, 2002).

A importância do P no crescimento das plantas, torna o seu interesse maior em particular no aumento do sistema radicular, o que permite à planta absorver mais água e nutrientes (Santos, 2002), sendo, por exemplo, o nutriente básico nas pastagens ricas em Fabáceas (Crespo, 2005).

Nas plantas o P inorgânico é armazenado nos vacúolos das células das plantas, atingindo cerca de 2/3 do total de P nas plantas (Sinclair e Vadez, 2002), sendo o P inorgânico a forma que se move regularmente através do xilema e floema (Bloom et al., 1985).

## **1.9. Fertilizantes**

Existem vários materiais fertilizantes que podem ser utilizados em MPB, aplicados ao solo directamente ou após a compostagem, para além de existirem no mercado em comercialização, vários fertilizantes de diversas empresas com variadas formulações, os quais, são referidos no Guia dos factores de produção para a agricultura biológica (Ferreira, 2009b).

A diferença entre fertilizante e correctivo é feita com base nos teores mínimos de N, P, K e MO, de acordo com o quadro 1.2. (Ferreira, 2009b).

Quadro 1.2. Classificação dos fertilizantes orgânicos de acordo com os teores mínimos, percentagem em peso do produto comercial para classificação enquanto adubo.

Fertilizante	N orgânico	P ( $P_2O_5$ )	K ( $K_2O$ )	N+ $P_2O_5$ + $K_2O$	MO
Adubo orgânico azotado	3%	-	-	-	50%
Adubo orgânico azotado NPK	2%	2%	2%	10%	50%
Adubo orgânico NP	2%	3%	-	6%	50%
Adubo orgânico NK	3%	-	6%	10%	50%

### 1.9.1. Fertilizantes azotados

Os compostos de estrumes e de outros materiais constituem uma fonte importante de nutrientes, uma vez que possuem teores significativos de N e de outros nutrientes e menor razão C/N que os materiais originais, (Brito, 2003; Ferreira, 2009a).

Os fertilizantes com base em sangue, por exemplo, possuem elevados teores de N disponível ou facilmente mineralizável em comparação com estrumes ou compostos com base em materiais vegetais (Barker, 1975; Ferreira, 2009a).

No MPB, as culturas dependem do N fornecido pelo solo e, no caso das Fabáceas, dependem, também, da fixação biológica de N por parte do rizóbio. Estas culturas com capacidade para fixarem N atmosférico podem ser utilizadas para sideração e, assim, contribuir para suprir as necessidades de N por parte das culturas (Berntsen et al., 2006). No anexo 8 do CBPA estão descritas as quantidades de N fixado por algumas Fabáceas (MADRP, 1997).

### 1.9.2. Fertilizantes fosfatados

O fosfato de Gafsa, fonte de P utilizado nos ensaios da alface e da couve repolho deste trabalho, pode ser utilizado em MPB (Ferreira, 2009b). O fosfato é um componente de interesse agronómico nestas rochas e quanto maior for o conteúdo de fosfato ( $P_2O_5$ ) em forma de apatite, maior é o potencial económico da rocha (McClellan e Van Kauwenbergh, 2007).

Os fosfatos naturais reactivos, como o fosfato natural de Gafsa (região localizada na Tunísia), são de origem sedimentar, sendo encontrados em áreas desérticas de clima seco, onde predominam apatites com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, resultando em cristais imperfeitos, com grande porosidade, que lhes confere maior superfície específica, podendo ser facilmente hidrolisados, sendo, por isso, conhecidos como fosfatos moles e de grande reactividade (Hammond, 1977; Peruzzo et al.,

1997). O interesse na utilização de fosfatos naturais em solos ácidos advém do facto de possuírem carácter alcalinizante (sendo alternativa e complemento aos correctivos alcalinizantes) e saturarem o complexo de fixação do solo em fósforo (Santos, 2002).

Os fosfatos naturais autorizados em AB, como o fosfato de Gafsa podem ser tão eficientes quanto os fosfatos solúveis (Corrêa et al., 2005; Raij et al., 1992), no entanto a sua eficiência depende da cultura, do tipo de solo, da dose utilizada, do pH do solo e da duração da avaliação (Kochhann et al., 1982). Os fosfatos naturais são pouco solúveis em água e necessitam de alguma acidez do solo para solubilizar-se ao longo do tempo (Goedert e Sousa, 1984), de forma que o fosfato de rocha necessita ser aplicado antes da calagem (Magalhães et al., 1987), tendo em atenção que num solo muito ácido, diminui a solubilidade do P devido à precipitação de fosfatos de alumínio, ferro e manganês, e diminui as taxas de mineralização da MO porque prejudica a actividade microbiana. Em geral, a eficiência agronómica dos fosfatos naturais é baixa para culturas de ciclo curto ou anuais, porém no longo prazo a sua eficiência tende a aumentar, sendo até geralmente superior aos fosfatos solúveis (Lopes, 1999).

A eficiência do fosfato de Gafsa pode ser inferior aos fosfatos solúveis se aplicado localizado (Raij et al., 1982), porque deste modo reduz o número de raízes com contacto com P, apesar de poder diminuir a adsorção de P (Corrêa et al., 2005), possuindo maior eficácia quando aplicado a lanço (Goedert e Sousa, 1984). De outro modo, o fosfato de Gafsa se aplicado a lanço pode ser tão eficiente quanto os superfosfatos triplos (Raij et al., 1982).

A farinha de osso é também um material com potencial para adicionar quantidades interessantes de P (Ferreira, 2009a).

### **1.9.3. Correctivos orgânicos**

Em MPB, o agricultor pode utilizar varias fontes orgânicas como estrumes (mistura de dejectos das camas dos animais), e chorume (fracção líquida) (Ferreira, 2009a), devendo os correctivos orgânicos ter origem na própria exploração ou noutras explorações agrícolas, em regime de MPB (CE, 2007). A quantidade de macronutrientes principais que compõem os estrumes e chorumes das várias espécies pecuárias principais estão descritas no anexo 1 e 2 do CBPA (MADRP, 1997; Ferreira, 2009a). A compostagem pelo agricultor dos estrumes e chorumes deve ser uma prática a considerar no MPB (Brito, 2003; Ferreira,

2009a). Diversas empresas comercializam variadíssimos correctivos para o MPB, como é o caso da LIPOR, a qual, utiliza vários materiais no fabrico do Nutrimais para AB: produtos horto-frutícolas, restos de alimentos criteriosamente seleccionados em restaurantes, cantinas e estabelecimentos similares, resíduos de exploração florestal (troncos, ramagens, folhagem) e resíduos verdes (flores, relvas, podas, etc.), materiais impróprios para consumo humano ou processamento (frutas, legumes e lacticínios em estado sólido e material da panificação, que não inclua massas frescas) e materiais lenhosos. Os resíduos das culturas também podem ser usados na aplicação directa ao solo ou em compostagem. No anexo 9 estão descritas as quantidades de N, P e K que os resíduos de algumas culturas adicionam ao solo (MADRP, 1997). O bagaço de uva e de azeitona pode igualmente ser compostados e utilizados no MPB (Ferreira, 2009a).

Numa avaliação de treze correctivos orgânicos, Oliveira et al. (2009), concluíram que 23,1% dos correctivos analisados não tinham qualidade aceitável para serem usados como correctivos orgânicos por serem susceptíveis de afectar a produção e a fertilidade do solo e outros 23,1% podiam ser usados mas com restrições, o que não deixa de ser preocupante, mesmo sabendo que são correctivos orgânicos para o MPC.

#### **1.9.4. Correctivos minerais alcalinizantes**

A correcção da reacção do solo afecta a disponibilidade de nutrientes e afecta a actividade microbiana (Brito, 2007). Os correctivos que podem ser usados no MPB são o carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), o carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), o carbonato de cálcio de magnésio ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), o óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), o hidróxido de magnésio ( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) e o óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) (Varenes, 2003). A aplicação de 6 t  $\text{ha}^{-1}$  a 8 t  $\text{ha}^{-1}$  de carbonato de cálcio na generalidade corrige elevando o pH em um valor, dependendo este valor do poder tampão do solo, ou seja, do teor de MO do solo, sendo que em solos ricos em MO pode ser mais elevado e para solos mais pobres em MO pode ser mais reduzido (Brito, 2007).

##### **1.9.4.1. O cálcio**

O cálcio pode-se encontrar no solo em cinco formas: na estrutura de minerais, adsorvidos na matriz do solo, precipitado, na solução do solo e na matéria orgânica (Varenes, 2003).

O cálcio é absorvido pelas plantas na forma iónica, isto é,  $\text{Ca}^{++}$ , sendo que, o seu comportamento é algo semelhante ao comportamento do potássio. O íon de cálcio,  $\text{Ca}^{++}$ , é

adsorvido no complexo de troca (o cálcio de troca), constituindo quase sempre, o catião largamente predominante naquele complexo e constitui sobretudo, após a passagem para a solução do solo, a principal fonte de cálcio para as plantas e devido à sua carga (++) e à sua baixa capacidade de hidratação, é retido com uma energia superior à de outros catiões, nomeadamente o potássio ( $K^+$ ), sódio ( $Na^+$ ) e magnésio ( $Mg^{++}$ ) (Santos, 2002).

O cálcio encontra-se nas plantas em quantidades muito variáveis situando-se de modo geral elevadas, entre 0,5 e 3% na matéria seca, sendo que o cálcio é muito pouco móvel na planta. A pouca mobilidade na planta faz com que a deficiência de cálcio se manifeste nas partes mais jovens (Santos, 2002).

### **1.10. A cultura da alface**

A alface (*Lactuca sativa*) é provavelmente descendente da espécie silvestre *Lactuca serriola* e teve origem no Próximo Oriente e Mediterrâneo (Almeida, 2006). A alface é domesticada desde a antiguidade, e é cultivada na região mediterrânica desde 2500 a.C., sendo que no Antigo Egipto era cultivada para aproveitamento de óleo extraído das sementes e na Grécia Antiga e Império Romano já era cultivada pelas folhas comestíveis (Almeida, 2006).

A alface é uma das cerca de cem espécies do género *Lactuca* e existem apenas três espécies do género que podem hibridizar com a alface, nomeadamente *L. serriola*, *L. saligna* e *L. virosa*, todas elas espontâneas na região mediterrânea (Almeida, 2006).

A alface é planta herbácea anual. O sistema radicular é aprumado, pouco ramificado e relativamente superficial, sendo que em cultivo intensivo de regadio a raiz da alface concentra-se nos primeiros 30 cm do solo, mas pode atingir 60 cm se a alface for originada por sementeira directa (Almeida, 2006), não ultrapassando os 50 cm se for transplantada (Mourão, 2007). Sendo a parte aérea da alface bastante polimórfica, o caule é curto, com 2 a 5 cm durante a fase vegetativa, mas alonga-se e ramifica durante o espigamento, podendo atingir 1 m de altura (Almeida, 2006). Durante a fase de crescimento vegetativo as folhas encontram-se dispostas em roseta, as quais, são alongadas nos primeiros estados do desenvolvimento e alargam-se quando se inicia a formação do repolho (Almeida, 2006).

Existem cinco grupos de cultivares na alface: Bola de Manteiga, Batávia, Romana, Acéfala ou de corte e de Caule. A cultivar utilizada neste trabalho é do tipo Batávia: forma um repolho arredondado ou ovóide, de folhas crespas com margens sinuosas ou recortadas,

sendo que as batávias europeias se distinguem das batávias americanas (tipo *iceberg*) quando o repolho muito compacto está nitidamente separado das folhas externas (Almeida, 2006). Ambas têm folhas com bordo ondulado, sendo por isso também conhecidas por alfaces frisadas (Miranda e Fernandes, 2001).

Em Portugal, o Entre-Douro e Minho (Póvoa de Varzim e Esposende), Beira Litoral (Vagos e Mira), Oeste (Lourinhã e Torres Vedras) e Algarve (Faro, Olhão e Silves), são as regiões agrícolas mais representativas em termos de área de produção (Miranda e Fernandes, 2001).

As cultivares mais difundidas em Portugal pertencem ao grupo das Bola de Manteiga, embora nos últimos anos o cultivo de Batávias (de origem europeia) tenha vindo gradualmente a aumentar, mesmo em regiões como o Entre-Douro e Minho, onde há cerca de duas décadas praticamente não existia (Miranda e Fernandes, 2001).

A alface é cultivada pelas folhas e consumida em saladas (Almeida, 2006). Tem sido considerada como uma planta com propriedades tranquilizantes (Maroto, 2000). As folhas de alface são essencialmente constituídas por água, mas são ricas em vitaminas (principalmente a vitamina A e a C), minerais e fibra (Almeida, 2006), como se descreve no quadro 1.3.

A Tabela de Composição dos Alimentos (TAC) fornecida pelo Instituto de Saúde Doutor Ricardo Jorge via *online* (<http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/>), propõe a seguinte composição (100 g de produto edível): (i) Água – 95,9 (g); (ii) Energia – 12 (Kcal); (iii) Proteína – 1,8 (g); (iv) Gordura – 0,2 (g); (v) Hidratos de carbono – 0,8 (g); (vi) Fibra – 1,3 (g); (vii) Vitamina A – 115 (ug); (viii) Tiamina – 0,060 (mg); (ix) Riboflavina – 0,020 (mg); (x) Niacina – 0,40 (mg); (xi) Vitamina B6 – 0,040 (mg); (xii) Potássio – 313 (mg); (xiii) Cálcio – 70 (mg); (xiv) Fósforo – 46 (mg); (xv) Magnésio – 22 (mg); (xvi) Sódio – 3,0 (mg); (xvii) Ferro – 1,5 (mg). A concentração de azoto nas folhas da cultura da alface é de 43 g kg<sup>-1</sup> (New Mexico Climate Center citado por Brito, 2007). O valor nutritivo da alface varia em função da cor das folhas: as mais esbranquiçadas do interior do repolho são menos nutritivas do que as folhas do exterior, sendo que as alfaces de folhas e romana tendem a ser mais ricas em fibra, vitaminas e minerais do que as alfaces de repolho (Almeida, 2006).



Quadro 1.3. Composição média das folhas da alface: valores expressos por 100 g de parte comestível (Almeida, 2006).

Água (%)	94-96	Vitamina A (UI)	502-7405	Potássio (mg)	141-247
Energia (Kcal)	13-18	Tiamina (mg)	0,04-0,07	Cálcio (mg)	18-36
Proteína (%)	0,8-1,6	Riboflavina (mg)	0,03-0,07	Fósforo (mg)	20-33
Gordura (%)	0,15-0,30	Niacina (mg)	0,12-0,38	Magnésio (mg)	7-13
Hidratos de carbono (%)	2,1-3,5	Ácido ascórbico (mg)	3,0-24,0	Sódio (mg)	5-9
Fibra (%)	1,1-2,1	Vitamina B6 (mg)	0,04-0,09	Ferro (mg)	0,4-1,2

### 1.10.1. Morfologia

A alface é uma espécie anual com ciclo relativamente curto, cuja duração depende da cultivar, da região e da época de produção. O ciclo cultural em estufa dura cerca de 6 a 8 semanas na época de Primavera-Verão e 10 a 12 semanas durante o Inverno (Almeida, 2006).

De acordo com Almeida (2006), o ciclo vegetativo da alface pode dividir-se em 5 fases: (i) germinação e emergência; (ii) formação da roseta de folhas; (iii) formação do repolho; (iv) espigamento e floração; e (v) maturação dos aquénios. As fases (iv) e (v) não fazem parte do ciclo cultural destinada ao consumo. Por outro lado, Maroto (2000) distingue para o ciclo vegetativo da alface 3 fases: (i) fase de formação de uma roseta de folhas; (ii) fase de formação de um repolho mais ou menos compacto; (iii) fase de reprodução ou de emissão de haste floral.

### 1.10.2. Desenvolvimento e exigências edáfo-climáticas

A germinação da alface pode ocorrer em 2 a 3 dias com as temperaturas do substrato de 20 a 25 °C, levando cerca de 4 a 6 dias a 15 °C (Almeida, 2006). Após a fase de desenvolvimento que se segue à emergência ou após a superação da crise de transplantação, a planta produz folhas que se inserem em espiral formando uma roseta e curvadas para o interior, sendo que as folhas se sobrepõem e enclausuram as folhas mais jovens, formando o repolho, o qual, é influenciado pela temperatura (especialmente nocturna) e pela luminosidade (Almeida, 2006).

A formação do repolho é dificultada quando ocorrem temperaturas elevadas (20 °C) durante um período de fraca intensidade luminosa, mas o repolho forma-se se temperaturas daquela ordem ocorrerem em períodos de elevada intensidade luminosa, por outro lado, em

condições de baixa luminosidade, a formação do repolho é favorecida por temperaturas baixas (Almeida, 2006).

As temperaturas médias na ordem dos 7°C reduzem muito o crescimento da alface, assim, temperaturas médias de 15 a 20°C são consideradas ótimas para a produção da grande maioria das cultivares de alface (Almeida, 2006). No quadro 1.4., são indicadas as temperaturas para a cultura da alface.

Quadro 1.4. Temperaturas para a cultura da alface (Almeida, 2006).

Parâmetro	Temperatura (°C)
Germinação – Mínima	2-5
Ótima	15-25
Máxima	30
Temperatura média mensal ótima	15-20
Fase de produção de folhas – dia	12-15
noite	10-12
Fase de formação do repolho – dia	10-12
noite	2-6
Temperatura do solo ótima	13-15

A alface pode ser cultivada com sucesso em diversos tipos de solo, embora prefira solos frescos e bem drenados, sendo que se dá melhor em solos de textura franca ou argilosa, ricos em MO, salientando-se que os solos arenosos devem ser reservados para a cultura de Inverno (Almeida, 2006).

A sensibilidade da alface à salinidade é moderada, e tem como máximo admitido sem que haja redução de produtividade o valor de 1,3 dS m<sup>-1</sup>, podendo a percentagem de redução da produtividade acima do nível crítico atingir os 13% por dS m<sup>-1</sup> (Maynard e Hochmuth, 1997). O pH ótimo situa-se entre 6,0 e 6,8 (Maynard e Hochmuth, 1997).

### 1.10.3. Instalação da cultura

As formas de armação do terreno mais comuns são em camalhões com várias linhas, sendo que os compassos típicos para a alface consistem em entrelinhas de 20 a 40 cm e distância entre plantas na linha de 20 a 30 cm.

A alface podendo ser uma cultura principal na rotação, devido ao seu curto ciclo cultural, é normalmente uma cultura intercalar (Almeida, 2006). Assim, a alface não se deve suceder a outra cultura de alface, senão que as Brassicáceas e as Fabáceas hortícolas são precedentes a evitar, enquanto as Solanáceas, Cucurbitáceas e as Apiáceas são bons precedentes para a cultura da alface (Almeida, 2006).

A alface é uma cultura exigente em água. A água é especialmente importante no início do ciclo cultural da alface, mas o excesso de água na fase final da cultura favorece a incidência de podridões do colo (*Sclerotinia* spp.) (Almeida, 2006). As regas devem ser frequentes durante o verão.

#### 1.10.4. Fertilização

A alface após a transplantação necessita de ter os nutrientes facilmente disponíveis na camada superficial do solo uma vez que tem rápido crescimento e um sistema radicular pouco profundo.

A alface é relativamente pouco exigente em azoto. Um solo com 5% de MO pode reduzir substancialmente a necessidade de fertilização neste nutriente (Almeida, 2006). Por outro lado, o excesso de N pode originar graves inconvenientes: atraso na formação do repolho, produção de repolhos pouco compactos, maior susceptibilidade a doenças e excessiva acumulação de nitratos nas folhas, especialmente em condições de baixa luminosidade, tal como referido por diversos autores que registaram que a concentração de nitrato nas folhas de alface em cultura protegida foi maior no inverno e menor no verão (Maynard et al., 1976; Reinink, 1991; Almeida, 2006). Note-se que uma elevada concentração de nitratos em produtos frescos é considerado um perigo para a saúde (Maynard et al., 1976). É recomendada a manutenção de fertilização da relação  $K_2O/N$  de cerca de 4 na cultura de Inverno e de 3 na de Primavera (Almeida, 2006).

Diversos autores indicam que elevando a fertilização azotada aumenta o tamanho da alface e o número de folhas por planta (Awny e Moursy, 1992), o peso fresco e a produção total (Awny e Moursy, 1992; Gawish, 1997; Cameria et al., 2000) e o teor de nitrato nas folhas (Awny e Moursy, 1992; Bakr e Gawish, 1997). Contudo, Custic et al. (1994) concluiu que o aumento da fertilização azotada pode aumentar os teores de nitrato nos tecidos da alface, sem conduzir a aumentos significativos de produção.

O quadro 1.5. descreve as exportações da alface tipo Batavia para as produções correspondentes de acordo com o autor.

Quadro 1.5. Exportações da alface de acordo com os respectivos autores.

Produtividade (t.ha <sup>-1</sup> )	N (Kg.ha <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg.ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (Kg.ha <sup>-1</sup> )	CaO (Kg.ha <sup>-1</sup> )	MgO (Kg.ha <sup>-1</sup> )	Fonte
34	63	25	137	17	5	Almeida, 2006
42	80	40	170	40	10	“
57	109	91	221	55	13	“
25-35	63-88	25-35	150-210	-	-	MADRP, 1997

No quadro 1.6. estão descritas as recomendações de fertilização, para as produções esperadas apontadas, para os macronutrientes principais para a cultura da alface ao ar livre, tendo em atenção que a alface é sensível á carência de cálcio, magnésio e boro (MADRP/INIAP, 2005).

Quadro 1.6. Recomendação (kg ha<sup>-1</sup>) de fertilização de macronutrientes principais para a cultura da alface (MADRP/INIAP, 2005).

Produção esperada (t ha <sup>-1</sup> )	N (kg.ha <sup>-1</sup> )	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) - níveis no solo (mg kg <sup>-1</sup> )					Potássio (K <sub>2</sub> O) - níveis no solo (mg kg <sup>-1</sup> )				
		<25	26-50	51-100	101-200	>200	<25	26-50	51-100	101-200	>200
25	80	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40
30	115	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40
40	130	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40
50	150	160	120	80	60	40	160	120	80	60	40

### 1.11. A cultura de couve repolho

A cultura de couve repolho encontra-se documentada na Alemanha desde o século XII, admitindo-se que o antepassado das actuais brássicas hortícolas tenha sido originário das zonas costeiras da Europa temperada e mediterrânica (Almeida, 2006).

A espécie *Brassica oleracea* é extremamente polimórfica (Almeida, 2006). Na designação genérica de couves de repolho, são incluídas todas as couves que formam um único repolho terminal, estando neste caso todas as formas da variedade botânica *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. – na qual, se inclui a couve-repolho, couve-branca, couve-coração, couve-roxa e couve-lombarda (Almeida, 2006).

A classificação botânica das couves de repolho baseia-se na distinção entre aquelas que formam folhas lisas e as que têm folhas frisadas (couve-lombarda), sendo que nas que formam folhas lisas, distinguem-se ainda duas formas, *alba* – de folhas brancas – e *rubra* – de folhas com pigmentos antociânicos (Almeida, 2006).

A classificação actual das couves de repolho é a seguinte: (a) *Brassica oleracea* L. var. *capitata* L., com duas formas: (i) *alba*, couve-branca e couve-coração do tipo pontiagudo (ou *spitz-kohl*); (ii) *rubra*, couve-roxa e (b) *Brassica oleracea* L. var. *sabauda* L. que é a couve-lombarda, também conhecida por couve-de-milão ou couve-de-sabóia. Este grupo

de cultivares tem como sinonímia frequente e legal de *Brassica oleracea* L. var. *bullata* D.C.

A couve repolho é uma cultura hortícola que se consome pelas folhas, normalmente comercializadas em fresco e consumidas cozinhadas e é relativamente rica em minerais, nomeadamente cálcio, ferro, magnésio e potássio e vitaminas, com destaque para a vitamina C e provitamina A nas cultivares de folhas verdes (Almeida, 2006), como se descreve no quadro 1.7., sendo o seu teor em minerais inferior ao espinafre mas superior ao tomate (Hui et al., 2004), sendo variável com a fertilização e a estação do ano (Citak e Sonmez, 2010). Igualmente, a cultura de couve repolho é também rica em proteínas (Almeida, 2006).

A Tabela de Composição dos Alimentos (TAC) fornecida pelo Instituto de Saúde Doutor Ricardo Jorge via *online* (<http://www.insa.pt/sites/INSA/Portugues/>), propõe a seguinte composição (100 g de produto edível) para a couve lombarda: (i) Água – 91,1 (g); (ii) Energia – 19 (Kcal); (iii) Proteína – 2,4 (g); (iv) Gordura – 0,2 (g); (v) Hidratos de carbono – 2,1 (g); (vi) Fibra – 3,1 (g); (vii) Vitamina A – 166 (ug); (viii) Tiamina – 0,15 (mg); (ix) Riboflavina – 0,030 (mg); (x) Niacina – 0,70 (mg); (xi) Vitamina B6 – 0,15 (mg); (xii) Potássio – 252 (mg); (xiii) Cálcio – 51 (mg); (xiv) Fósforo – 64 (mg); (xv) Magnésio – 12 (mg); (xvi) Sódio – 9,0 (mg); (xvii) Ferro – 0,5 (mg).

Destaca-se os indícios epidemiológicos para a correlação inversa entre a incidência de certos tipos de cancro (*e.g.* cancro do cólon) e o consumo de brássicas, devido à presença de glucosinolatos.

A concentração de azoto nas folhas da couve repolho é de 41,5 g kg<sup>-1</sup> (New Mexico Climate Center, citado por Brito, 2007).

Quadro 1.7. Composição média das folhas de couve de repolho: valores expressos por 100 g de parte comestível (Almeida, 2006).

Água (%)	92	Vitamina A (UI)	126	Potássio (mg)	246
Energia (Kcal)	24	Tiamina (mg)	0,05	Cálcio (mg)	47
Proteína (%)	1,44	Riboflavina (mg)	0,03	Fósforo (mg)	23
Gordura (%)	0,12	Niacina (mg)	0,3	Magnésio (mg)	15
Hidratos de carbono (%)	5,6	Ácido ascórbico (mg)	47,3	Sódio (mg)	18
Fibra (%)	2,3	Vitamina B6 (mg)	0,1	Ferro (mg)	0,6

### **1.11.1. Morfologia**

As couves de repolho são plantas herbáceas bienais e o seu sistema radicular é aprumado e superficial.

Na fase vegetativa, o caule é curto e não ramificado e as folhas são normalmente espessas, glabras, dispostas em roseta numa primeira fase e formando posteriormente um repolho (Almeida, 2006). As couves de repolho caracterizam-se por formarem um único repolho terminal, constituído pela sobreposição de folhas da gema terminal inseridas num caule não ramificado com entrenós muito curtos (Almeida, 2006). Nas couves de repolho existe uma grande diversidade morfológica em termos de tamanho, da forma e da cor do repolho, sendo que a altura das plantas pode atingir os 40 a 60 cm (Almeida, 2006).

### **1.11.2. Desenvolvimento e exigências edáfo-climáticas**

As couves de repolho são plantas bienais, cultivadas como anuais (Almeida, 2006), de crescimento relativamente lento (Maroto, 2000).

Almeida (2006) considera duas fases no desenvolvimento das couves de repolho: a fase vegetativa e a fase reprodutiva, cada uma das fases com cinco estádios, assim: Fase vegetativa: (i) germinação; (ii) emergência e estabelecimento; (iii) formação das folhas; (iv) formação do repolho; (v) maturação do repolho. A Fase reprodutiva, após vernalização (temperaturas óptimas de vernalização variam entre 4-10 °C, entre 10 e 50 dias): (i) alongamento do caule; (ii) desenvolvimento dos botões florais; (iii) floração; (iv) desenvolvimento das síliquas; (v) desenvolvimento das sementes.

Maroto (2000), citando Bailey (1963), considera somente três fases no ciclo cultural das couves de repolho: (i) fase de crescimento da planta, com formação abundante de folhas, nas quais, se acumulam reservas elaboradas pela planta e ocorre a formação de gomos; (ii) fase de iniciação da formação dos primórdios florais; (iii) fase de crescimento e alargamento dos botões florais, que finaliza com a formação de flores e sementes.

A germinação ocorre quando a temperatura mínima é de 4°C e se acumulam cerca de 105 °C (Almeida, 2006).

Após a emergência a planta produz folhas de desenvolvimento horizontal adquirindo a forma de roseta, as quais, desempenham um papel primordial na formação do repolho, no que diz respeito à morfologia como também pela translocação de fotoassimilados, sendo que cerca de 40% do carbono assimilado é translocado para o repolho, a partir das folhas

externas (Almeida, 2006). A taxa de aparecimento de novas folhas é de 0,1 a 0,5 por dia, ou seja, cerca de 3 folhas por cada 100 °C ( $T_0=0$  °C) (Almeida, 2006).

As couves são plantas indiferentes ao fotoperíodo.

Durante o processo de formação do repolho as folhas produzidas são mais largas, sem pecíolo, de inserção mais erecta e começam a curvar-se para o interior da planta (Almeida, 2006).

As couves de repolho são culturas microtérmicas, de estação fria, moderadamente tolerantes à geada, sendo que a melhor qualidade é obtida em regiões com temperaturas uniformes da ordem dos 15-20 °C, uma vez que temperaturas superiores a 25 °C prejudicam a forma e a firmeza do repolho (Almeida, 2006). No quadro 1.8., são indicadas as temperaturas para a couve-repolho.

Quadro 1.8. Temperaturas para a cultura da couve repolho (Almeida, 2006).

Parâmetro	Temperatura (°C)
Germinação - Mínima	4,5
Ótima	29
Máxima	38
Vegetação - Mínima	7
Ótima	16-18 (dia) e 10-12 (noite)
Máxima	35
Vernalização	4-10

As couves de repolho preferem solos de textura média ou argilosa, bem drenados para plantações de Verão-Outono e os solos mais leves (que aquecem mais facilmente), são mais adequados para cultura de Outono-Primavera (Almeida, 2006).

A sensibilidade das couves de repolho à salinidade é moderada, e tem como máximo admitido sem que haja redução de produtividade o valor de 1,8 dS m<sup>-1</sup>, podendo a percentagem de redução da produtividade acima do nível crítico atingir os 10% por dS m<sup>-1</sup> (Maynard e Hochmuth, 1997). O intervalo de pH óptimo varia entre valores de 5,5-7,0 (MADRP/INIAP, 2005), no entanto Almeida (2006), defende intervalo óptimo de pH para a couve repolho entre valores de 6,5-7,5, cuja tolerância à acidez é reduzida, citando Maynard e Hochmuth (1997).

### 1.11.3. Instalação da cultura

A sementeira em tabuleiros alveolados e transplantados com raiz protegida ocorre 6 semanas após a sementeira, de modo que a plantação possa ser feita com terreno armado à rasa ou em camalhões com 1 a 2,5 m de largura (Almeida, 2006).

Os compassos mais frequentes nas couves de repolho consistem em entrelinhas de 50 a 90 cm e distância entre plantas na linha variando entre 25 e 50 cm (Almeida, 2006).

As couves de repolho são frequentemente culturas intercalares, na execução de rotação, sendo que se devem evitar outras culturas Brassicáceas (só devem voltar à mesma folha passados 5 anos) como precedente cultural. Já as Aliáceas, Quenopodiáceas, Solanáceas e Cucurbitáceas são precedentes culturais que não têm inconvenientes para as culturas de couves (Almeida, 2006).

As couves de repolho são relativamente tolerantes à secura, mas exigem abundante disponibilidade de água para uma boa produtividade. A reduzida profundidade radical útil, cerca de 50 a 80 cm (Allen, et al., 1998, citado por Mourão (2007)), dificulta a eficácia das couves na utilização da água do solo (Almeida, 2006). A formação do repolho é a fase crítica em termos de exigências hídricas, podendo aquele fendilhar em condições de rega deficientes (Almeida, 2006). A utilização da rega por aspersão favorece o aparecimento de doenças, em particular a podridão negra das brássicas (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*) (Almeida, 2006).

#### **1.11.4. Fertilização**

As couves repolho são exigentes no que diz respeito à fertilidade do solo, influenciando assim a produtividade e a qualidade das mesmas.

O nível de N é especialmente importante na fase inicial da formação do repolho, no entanto o excesso de azoto, dificulta a formação do repolho e pode reduzir a percentagem de matéria seca, sendo que a aplicação de N deve ser fraccionado, com aplicação de 1/3 em fundo, 1/3 aplicado em cobertura 2 a 3 semanas após a plantação e o restante cerca de 2 a 3 semanas depois (Almeida, 2006). O fósforo e o potássio são igualmente importantes na fase de crescimento das folhas externas, devendo a sua aplicação, ser ajustada em função da fertilidade do solo, analogamente esta cultura é sensível a carências de molibdénio em solos ácidos, de boro em solos alcalinos e de enxofre ( $100 \text{ kg.ha}^{-1}$ ) (Almeida, 2006) e ao magnésio (MADRP/INIAP, 2005).

De acordo com o CBPA (MADRP, 1997) as exportações da couve repolho para produções entre 35 e 50 t estão descritas no Quadro 1.9. No quadro 1.10., estão descritas as recomendações de fertilização (para as produções esperadas apontadas), para os



macronutrientes principais para a cultura da couve repolho (MADRP/INIAP, 2005). Almeida (2006) preconiza uma aplicação de correctivo orgânico à razão de 30 a 40 t ha<sup>-1</sup>.

Quadro 1.9. Exportações da couve repolho (MADRP, 1997; Almeida, 2006).

Cultura	Parte da planta	Produção	Exportações (kg ha <sup>-1</sup> )		
			N	P <sub>2</sub> P <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Couve repolho	Folhas e talos	35-50	250	85	250

Quadro 1.10. Recomendação (kg ha<sup>-1</sup>) de fertilização de macronutrientes principais para a cultura da couve repolho.

Produção esperada (t ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) – níveis no solo (mg kg <sup>-1</sup> )					Potássio (K <sub>2</sub> O) – níveis no solo (mg kg <sup>-1</sup> )				
		<200	26-50	51-100	101-200	>200	<25	26-50	51-100	101-200	>200
30	100	200	160	120	90	60	200	160	120	90	60
80	180	200	160	120	90	60	200	160	120	90	60

## 1.12. Objectivos do trabalho

Os objectivos deste trabalho consistem na avaliação dos efeitos da aplicação de fertilizantes certificados para o MPB incluindo um fertilizante orgânico, um fosfato natural e calcário, na produção e na composição mineral da alface e da couve repolho e na avaliação das interacções entre fertilizantes, com o objectivo de contribuir para a melhoria das recomendações de fertilização no MPB para estas culturas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios com alface e com a couve repolho foram instalados na Escola Superior Agrária de Ponte de Lima (ESAPL) (41°47'30''N, 8°32'24''O, 50 m de altitude), numa estufa sem climatização (figura 2.1.). Nestes ensaios só se utilizaram factores de produção que satisfizessem a legislação em vigor para o MPB, nomeadamente o Regulamento (CE) nº 834/2007 (CE, 2007).



Figura 2.1. Localização da estufa utilizada nos ensaios em vasos da alface e couve repolho na ESAPL.

### 2.1. Delineamento experimental e fertilizantes utilizados

As experiências da alface e da couve repolho foram executadas em vasos com 4 blocos casualizados e 12 tratamentos diferentes, resultantes da seguinte estrutura factorial com três factores:

- Factor 1: aplicação de fosfato de Gafsa (Fertigafsa) com 2 níveis (0 e 200 kg de  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>).
- Factor 2: aplicação de adubo orgânico (Nutrimais) com 3 níveis (0, 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>).
- Factor 3: aplicação de calcário (Fertical) com 2 níveis (0 e 8 t ha<sup>-1</sup>).

Utilizou-se a mesma casualização para as duas culturas, a cultura de alface e couve repolho. Utilizaram-se 48 vasos em cada experiência, um para cada repetição de cada tratamento.

#### **a) Fertigafsa**

O Fosfato de Gafsa utilizado é comercializado pela ADP Fertilizantes S.A e tem a designação comercial de Fertigafsa, não existindo recomendação deste fertilizante para culturas hortícolas, na literatura fornecida pelo fabricante. É um adubo fosfatado constituído por fosfato natural macio com a formulação de 0-26,5-0. Possui as seguintes características: (i) 26,5% de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) total; (ii) 15% de pentóxido de fósforo ( $P_2O_5$ ) solúvel em ácido fórmico a 2%; (iii) grau de moenda com 90% de passagem através de um crivo com uma abertura de malha de 0,063 mm (ADP, 2009).

De acordo com especificações do fabricante o fosfato de Gafsa apresenta-se na forma granulométrica e é fosfato de origem sedimentar. O fosfato de Gafsa além de P apresenta riqueza em Ca (29% de CaO), enxofre, magnésio, sódio, cobalto, ferro, manganês e zinco. O fosfato de Gafsa apresenta elevada reactividade, dada a sua elevada superfície específica (22,5 m<sup>2</sup>/g), daí que 100 kg de fosfato natural de Gafsa oferece uma superfície de contacto de 225 ha de solo, donde a reactividade do fosfato de Gafsa comparada com outros fosfatos sedimentares é dada pela solubilidade no ácido fórmico a 2% e pela solubilidade carbónica, respectivamente de 75-80% e 80% e 22-60% e 50% (ADP, 2009).

#### **b) Nutrimais**

O adubo orgânico utilizado com a designação comercial de Nutrimais para a agricultura biológica é comercializado pela Lipor. Este correctivo orgânico pertencia a um lote que foi certificado para o MPB. De acordo com as especificações do fabricante o Nutrimais é um produto feito á base de resíduos de exploração florestal (troncos, ramagens e folhagem), resíduos impróprios para consumo ou processamento (carnes, peixes, frutas, legumes, lacticínios, panificação), materiais lenhosos, resíduos verdes (flores, relvas, podas), resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas e resíduos de mercados, devidamente separados na origem. O Nutrimais para a agricultura biológica é aconselhado em horticultura na razão de 60-90 l (100 m<sup>2</sup>) em estufa e 45-60 l (100 m<sup>2</sup>) ao ar livre. Este Nutrimais possuía as seguintes características de acordo com o fornecedor: (i) humidade <28%; (ii) M.O.> 59%; (iii) pH <9,2; (iv) condutividade eléctrica <2,7 mS/cm; (v) C/N <13; (vi)  $P_2O_5$  >1,4%; (vii)  $K_2O$  >1,8%; (viii) MgO = 0,47%; (ix) consumo de O<sub>2</sub> <6,45

mg O<sub>2</sub>/g MS; (x) teste de auto-aquecimento (Dewar) classe V; (xi) metais pesados (mg/kg M.S.), de acordo com recolha de amostra e análises efectuadas pela SATIVA, referência nº LD-08/00212 de 30-06-2008: Cádmio total (Cd) <1; Cobre total (Cu) 40,16; Mercúrio total (Hg) 0,27; Níquel total (Ni) 7,4; Chumbo total (Pb) 30,7; Zinco total (Zn) 123,09; Crómio total (Cr) 21,74.

### **c) Fertilical**

O correctivo agrícola alcalinizante utilizado em pó tem a designação comercial de Fertilical sendo comercializado pela ADP Fertilizantes S. A. Possui 96% de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) total.

## **2.2. Ensaio da alface**

### **2.2.1. Instalação da cultura de alface**

A variedade de alface (*Lactuca sativa*) utilizada no ensaio tem a designação comercial de JAZZIE da empresa Rijk Zwaan (alface tipo Batávia, cv. Jazzie da Rijk Zwaan). Esta variedade possui as seguintes características:

- Tipo: Alface Batávia - inclui as batávias de origem europeia (conhecidas por batávias) e as de origem americana (mais conhecidas por alfaces do tipo Iceberg). A textura crocante das folhas é semelhante nas batávias e Iceberg, no entanto, as Iceberg formam repolhos maiores, mais fechados e mais firmes que as batávias. Ambas têm folhas com o bordo ondulado sendo, por isso, também conhecidas por alfaces frisadas.
- Características agronómicas: planta de cor verde-clara, com desenvolvimento constante e uniforme e bom comportamento perante as baixas temperaturas.
- Características comerciais: alta uniformidade em que a densidade de folhas e o desenvolvimento da cabeça, são em forma de roseta.
- Resistências: variedade resistente ao míldio: *Bremia lactucae* Regel 1-16 e 18-24.
- Recomendações: recomendada para plantações de Outono-Inverno, sendo possível colheitas durante todo o Inverno e princípios da Primavera.

O substrato utilizado tem a designação comercial de A17966 Tray Mix for Bio P0377463, sendo comercializado pela empresa BVB-Bas Van Buuren. Possui as seguintes características: (i) 100% turfa e areia, próprio para propagação de sementes; (ii) azoto

disponível: 50-300 mg/l; (iii)  $P_2O_5$  disponível: 80-300 mg/l; (iv)  $K_2O$  disponível: 80-400 mg/l; (v) pH: 5-6,5; (vi) teor de sais: <1,5 g/l.

A sementeira foi realizada em tabuleiros de esferovite com 220 alvéolos ( $3 \times 2,5 \times 5,5 \text{ cm}^3$ ), no dia 27 de Agosto de 2009, utilizando o substrato referido e, cobrindo os alvéolos e a semente com vermiculite (figura 2.2.). A emergência das plantas de alface verificou-se 3 dias após a sementeira, de forma homogênea.



Figura 2.2. Tabuleiro após sementeira da alface.

### 2.2.2. Preparação dos vasos e transplantação

Os 48 vasos foram previamente lavados. Em cada vaso (0,25 m de diâmetro e 0,20 m de altura) colocaram-se 8 kg de terra anteriormente recolhida entre 0 e 20 cm de profundidade numa parcela da exploração agrícola da ESAPL que se encontrava à dois anos em pousio e que anteriormente era utilizado para culturas no MPB. Cada vaso foi regado com 2 litros de água, até o solo ficar sensivelmente à capacidade de campo. Cada um dos 48 tratamentos foi preparado no dia anterior à plantação (23 de Setembro de 2009) num tabuleiro de madeira, o qual, serviu de mesa de preparação de cada tratamento (figura 2.3.).



Figura 2.3. Tabuleiro para preparação de cada tratamento, nos 8 kg de terra a adicionar a cada um dos 48 vasos.

A densidade de plantação utilizada para o cálculo da fertilização foi de 200 000 plantas ha<sup>-1</sup>, que corresponde um compasso de plantação de 0,25 m x 0,20 m.

Para a determinação da quantidade de Fertigafsa (nível 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>), Nutrimais (níveis 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>) e Fertical (nível de 8 t ha<sup>-1</sup>), que se adicionou em cada tratamento considerou-se o teor de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para o fosfato de Gafsa e o valor neutralizante do Fertical.

A transplantação foi realizada no dia 24 de Setembro de 2009. Os vasos ficaram ao ar livre até ao dia 6 de Outubro, altura em que foram colocadas no interior da estufa. A figura 2.4. mostra o aspecto geral do ensaio após a transplantação.



Figura 2.4. Os 4 blocos e respectivos 48 vasos após transplantação da alface.

As plantas provenientes do viveiro foram seleccionadas pela homogeneidade para serem transplantadas.

### **2.2.3. Preparação das plantas de viveiro, composto e solo para análise**

No dia em que se executou a transplantação, foram seleccionadas 40 plantas de alface, constituindo 4 grupos de 10 plantas. Estas 40 plantas, representativas das plantas transplantadas para os tratamentos, foram lavadas em água corrente, com o objectivo de lhes serem retiradas o substrato, para ficarem com a raiz nua. De imediato foram secas com papel absorvente e separadas a raiz da parte aérea pelo colo da planta (figura 2.5.). Foi determinado o peso fresco da cada parte aérea (PA) e de cada raiz (R) das 40 plantas de viveiro.



Figura 2.5. Separação parte aérea/raiz para determinação de peso fresco.

As plantas provenientes do viveiro foram em seguida colocadas na estufa durante 2 dias à temperatura de 65-75°C, seguido de 103°C durante 4 horas, para posterior determinação do peso seco.

No dia da transplantação, foram colhidas 6 amostras de solo (S) com cerca de 0,5 kg cada, as quais, foram divididas em amostras de 400 g e 100 g. As amostras de solo de 100 g, devidamente identificadas, foram colocadas de imediato no congelador (para posterior análise aos extractos com KCl para determinação do azoto mineral –  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ), enquanto as de 400 g foram conservadas no frigorífico (para determinação da humidade, pH, CE, MO,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , e para a produção de matéria seca para digestão sulfúrica (para determinação de N e P) e digestão nitro-perclórica (para determinação de K, Ca, Mg e Fe).

Colheram-se 6 amostras de Nutrimais (composto C) com cerca de 0,5 kg cada, as quais, foram divididas em amostras de 400 g e 100 g cada, para conservação tal como referido para os solos e subsequente análise.

Foi determinado a percentagem de matéria seca (MS) do solo e do composto através do método gravimétrico por secagem a 105 °C.

#### **2.2.4. Cuidados, regas e tratamentos fitossanitários**

Durante o ciclo vegetativo da alface até á colheita houve o cuidado de eliminar toda as infestantes logo após emergirem para que não houvesse absorção de N pelas infestantes. Todos os vasos foram colocados sobre um prato com a finalidade de recolher os lixiviados, os quais, foram recolocados no vaso.



Efectuaram-se regas nos seguintes dias: à transplantação (2 L /vaso); 26 de Setembro (0,5 L/vaso); 4 de Outubro (1 L/vaso); 25 de Outubro (0,25 L/vaso); 10 de Novembro (0,5 L/vaso) e 24 de Novembro (1 L/vaso). Total de regas: 5,25 L/vaso.

Realizaram-se dois tratamentos fitossanitários, a 9 e a 25 de Outubro, com um fungicida para combate do míldio (Kocide DF da Agroquisa agroquímicos S.A.) (Agroquisa, 2009), em grânulos dispersáveis em água (WG), e com 35% (p/p) de cobre (sob a forma de hidróxido de cobre). O Kocide DF é um fungicida cúprico de acção preventiva, possuindo também acção bacteriostática e está autorizado para aplicação em MPB (DGADR/DSPFSV, 2009). A persistência de acção deste fungicida é de 12 a 15 dias. O Kocide DF é aconselhado na dose de 300 g por 100 L/água, por isso, foi aplicado com a concentração de 3 g/L.

### 2.2.5. Colheita da alface

A colheita das 48 alfaces foi efectuada no dia 2 de Dezembro de 2009, 69 dias após a plantação.

O processo de colheita foi executado da seguinte forma (figura 2.6.):

O torrão de terra com a planta foi retirado com ligeiro batimento na base do vaso (a)). Posteriormente foi colocado num balde com água para facilitar a separação da terra, das raízes da planta. Esta tarefa foi realizada manualmente (b)). Com água corrente retirou-se o resto da terra até á raiz nua (c)) e colocou-se a planta com as raízes no respectivo vaso.



Figuras 2.6. Sequência da colheita da alface em cada tratamento: a) Separação do torrão de terra do vaso; b) separação do solo das raízes; c) lavagem das raízes.

Posteriormente as plantas foram colocadas em saco de plástico, devidamente identificadas e transportadas para o laboratório, onde foram separadas pelo colo. Procedeu-se então à determinação do peso fresco da parte aérea e das raízes das plantas de cada tratamento. De seguida foram colocadas em saco de papel, e colocadas na estufa à temperatura de 65°C,



durante cerca de dois a três dias, no fim dos quais, foi determinado o peso seco da parte aérea e da raiz da planta de cada tratamento.

## **2.3. Ensaio da couve repolho**

### **2.3.1. Instalação da couve repolho**

A cultivar de couve repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) utilizada nesta experiência tem a designação de Coração de Boi (cv. Coração de Boi da Biosom, comercializada pela Germisem-sementes Lda., semente nº 3500-99189). Esta cultivar está certificada para o MPB pela Biogarantia BLIK e possui as seguintes características: repolho de coração volumoso, achatado, firme e bem estruturado de cor verde-claro e pé curto; couve muito produtiva, rústica e semi-precoce. Esta couve aconselha-se que não seja semeada durante dois anos consecutivos no mesmo local.

A sementeira foi efectuada em tabuleiro de esferovite, do mesmo modo descrito para a alface. O substrato utilizado foi o mesmo que se utilizou na alface. A sementeira foi executada em 10 de Abril de 2010.



Figura 2.7. Tabuleiro com plantas de couve repolho alguns dias após a emergência.

A emergência das plantas de viveiro da couve repolho deu-se 10 dias após a sementeira nos tabuleiros (figura 2.7.).

### **2.3.2. Transplantação e preparação dos vasos**

A transplantação foi realizada no dia 3 de Maio de 2010, para vasos (0,26 m de diâmetro e 0,23 m de altura). Em cada vaso foram colocados 11 kg do mesmo solo já referido no ensaio da alface. Cada vaso foi regado com 1 litro de água, até o solo ficar à capacidade de campo.



Figura 2.8. a) Vaso, solo e embalagens com os fertilizantes utilizados no tratamento mais fertilizado e b) aspecto da aplicação do tratamento ( $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ,  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto e  $8 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário).

A preparação de cada um dos tratamentos foi efectuada tal como para a alface. Na figura 2.8., é apresentado: a) o vaso 43 e b) aspecto da preparação do vaso 43 com fosfato de gafsa ( $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ), correctivo orgânico ( $30 \text{ t ha}^{-1}$ ) e calcários ( $8 \text{ t ha}^{-1}$ ) espalhados uniformemente no solo.

A densidade de plantação considerada para o cálculo das doses dos fertilizantes foi de  $50\,000 \text{ plantas/ha}^{-1}$ , correspondente a um compasso de plantação de  $0,40 \text{ m} \times 0,50 \text{ m}$ .



Figuras 2.9. Os 4 blocos e respectivos 48 vasos após transplantação da couve repolho.

Tal como para a alface as plantas transplantadas foram seleccionadas pela homogeneidade. Os vasos prontos foram colocados no interior da estufa (figura 2.9.) no dia da transplantação em cima dos pratos para recolha dos lixiviados. No dia 5 de Junho foram transferidos para o exterior da estufa para se evitarem as elevadas temperaturas atingidas no interior da estufa.

### 2.3.3. Preparação das plantas de viveiro, solo e composto para análise

Utilizaram-se 40 plantas (4 grupos de 10) na fase de transplantação para proceder à determinação do peso fresco e do peso seco médio de cada planta (folhas e raízes

separadamente) da mesma igual forma à anteriormente descrita para a alface. Na figura 2.10., está uma planta de viveiro tipo de couve repolho.



Figura 2.10. Plantas de viveiro tipo de couve repolho.

Tal como descrito para o ensaio da alface procedeu-se à colheita e análise de 6 amostras de solo e do composto.

#### **2.3.4. Cuidados, regas e tratamentos fitossanitários**

Os vasos foram identificados de acordo com o método utilizado para a cultura da alface. Foram cortadas as plantas infestantes imediatamente á emergência para evitar consumo de N e recolocados os lixiviados do prato.

A rega foi realizada manualmente sempre que necessário, com quantidades variáveis entre 0,25 L e 0,75 L por vaso, e uma periodicidade de 1 a 4 dias dependente da evapotranspiração, para evitar que o crescimento das plantas fosse limitado pela falta de humidade no solo. Na totalidade das regas utilizaram-se 17 litros de água por vaso.

Realizou-se um tratamento fitossanitário com um insecticida Spintor 480 SC da Dow AgroSciences, e comercializado em Portugal pela Lusosem – produtos para a Agricultura S.A. no dia 6 de Junho. Este insecticida, autorizado para MPB (DGADR/DSPFSV, 2009), é uma suspensão concentrada (SC) com 480 g/L de spinosade e tem como modo de acção fundamentalmente por contacto e ingestão. Aconselhado para horticultura protegida e ar livre na couve repolho para o combate da lagarta mineira das folhas (*Liriomyza trifolii*) e tripses (*Thrips* sp.) na dose de 20 cc/100 L de água, com o máximo de 2 aplicações até às 6-8 folhas verdadeiras e tem 3 dias de intervalo de segurança.

Realizou-se igualmente um tratamento fitossanitário no dia 19 de Julho com o fungicida Kocide DF da Agroquímica agroquímicos S.A. para combate a bacterioses (Agroquímica, 2009), já referido para a alface, na dose de 3 g / 1 L de água, igualmente autorizado para MPB (DGADR/DSPFSV, 2009).

### **2.3.5. Colheita da couve repolho**

A colheita das 48 plantas de couve repolho foi executada no dia 29 de Julho de 2010, 87 dias após a plantação. O processo de colheita foi executado com todos os cuidados descritos para a cultura da alface (figura 2.11.).



Figura 2.11. Separação da terra das raízes da couve repolho.

Após a colheita de cada planta foram separadas a parte aérea da raiz devidamente identificadas e determinado o peso fresco e o peso seco, tal como referido anteriormente para a alface.

## **2.4. Colheita de amostras e métodos de análise laboratoriais**

### **2.4.1. Análise das plantas**

O peso fresco e o peso seco das folhas e das raízes (das plantas de viveiro e das plantas colhidas) da alface e da couve repolho foram determinados com balança de precisão.

Para a produção de matéria seca para a realização das digestões, as plantas foram moídas num moinho de precisão Retsch GM 200. Os digeridos foram analisados por espectrofotometria de absorção molecular, após digestão das amostras em ácido sulfúrico (N e P). O K foi determinado por fotometria de emissão de chama e o Ca, o Mg e o Fe

foram determinados por espectrofotometria de absorção atómica, em ambos os casos, após digestão nitro-perclórica.

#### **2.4.2. Análise do solo e do composto**

As amostras de solo e de composto foram moídas em moinho Retsch GM 200, tendo-se utilizado as normas europeias da European Standards – Soil Improvers and Growing Media (CEN, 1999) para efectuar as análises do teor de humidade, do pH, da CE e da MO do composto. Foram utilizados os métodos de rotina do laboratório de solos da ESAPL para a análise dos solos.

##### **2.4.2.1. Solo**

O teor de humidade (H) (%) foi determinado pelo método gravimétrico a secagem a 105°C. O pH foi determinado pelo método de potenciometria sobre o extracto aquoso. A condutividade eléctrica (CE) foi determinada pelo método com um condutivímetro no mesmo extracto do Ph. A MO do solo foi determinada pela quantidade de dicromato de sódio gasto na oxidação de C orgânico, ou seja, pelo método clorimétrico com base no dicromato de sódio (método de Tynslei). O  $P_2O_5$  foi determinado pelo método de Egner-Riem e espectrofotometria molecular e o  $K_2O$  foi determinado pelo método de extracto de Egner-Riem – sendo a análise do K realizada por espectrofotometria de emissão de chama. O N mineral do solo foi determinado com base nos extractos em KCl 2 M (1:5), por espectrofotometria de absorção molecular em autoanalisador de fluxo segmentado. A concentração de  $N-NH_4^+$  foi determinada pela reacção de Berthelot e a concentração de  $N-NO_3^-$  foi determinada através do reagente de Griess-Ilosvay, após redução em coluna de cádmio.

O N e P totais foram determinados após digestão das amostras (0,2 g de cada amostra seca previamente moída) em ácido sulfúrico. O K, Ca, Mg e o Fe foram determinados após digestão nitroperclórica. O K foi determinado por fotometria de emissão de chama enquanto o Ca, Mg e o Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atómica.

A razão C/N do solo foi calculada pelo quociente entre o teor de C e o teor de N, sendo a concentração de C calculada pela fracção entre a concentração de MO e a constante 1,724 (factor de van Bemmelen).

#### 2.4.2.2. Composto

As análises do teor de H (%) (EN 13040), do pH (EN 13037), da CE (EN 13038) e do teor de MO (EN 13039) do composto foram determinadas através das normas Europeias (CEN, 1999). O N mineral ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) foi determinado tal como no solo. O N, P, K, Ca, Mg, Fe totais foram determinados tal como para o solo. A razão C/N do composto foi calculada pelo quociente entre o teor de C e o teor de N, sendo a concentração de C calculada pela fracção entre a concentração de MO e a constante 1,8 (Gonçalves e Baptista, 2001).

As principais características do solo, e do composto, utilizados nos ensaios da alface e da couve repolho encontram-se descritos, respectivamente, nos quadros 2.1., e 2.2.

Quadro 2.1. Características do solo e do compostado no ensaio da alface (média e desvio padrão (DP)).

	MS	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CE	MO	C/N	N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	%		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Solo														
Média		5,8	132	383	0,1	30,3	15	14	26	1,2	1,6	29,7	4,2	8,5
DP		0,1	3,2	11,6	0,01	6,9	5,7	11	14	0,7	0,2	9,1	1,0	2,9
Composto														
Média	87	9,0			2,5	562	12	1157	687	25,8	5,8	10,9	3,6	10,6
DP	0,8	0,1			0,17	1,1	0,2	143	194	2,5	0,6	1,9	0,7	1,4

A matéria orgânica (MO) e os teores dos nutrientes encontram-se expressos em relação à matéria seca.

Quadro 2.2. Características do solo e do composto no ensaio de couve repolho (média e desvio padrão (DP)).

	MS	pH	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CE	MO	C/N	N- NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N- NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	N	P	K	Ca	Mg
	%		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>		mg kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>
Solo														
Média		6,2	220	179	0,06	41,2	21	1	12	1,1	1,4	12	4,2	12,5
DP		0,1	6,4	4,0	0,01	0,1		0,2	2,3	0,3	0,1	0,4	1,0	2,5
Composto														
Média	81	8,8			5,3	600	13	1615	103	25,2	5,2	23,1	34,7	5,7
DP	0,7	0,1			0,1	4,5	1,1	230	79	1,0	0,2	0,7	3,3	1,0

A matéria orgânica (MO) e os teores dos nutrientes encontram-se expressos em relação à matéria seca.

De acordo com Zucconi e Bertoldi, (1987), ambos os compostos utilizados não estão totalmente maturados, uma vez que o teor de  $\text{N-NH}_4^+$  no ensaio da alface e da couve

repolho ultrapassam largamente o valor limite de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente 1157 e  $1615 \text{ mg kg}^{-1}$  MS. A razão  $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$  dos compostos, utilizados na alface e na couve repolho, é respectivamente 1,68 e 15,67, valores superiores a 1 (CCQC, 2001) e a 0,5 (Larney e Hao, 2007), indicadores igualmente da deficiente maturação dos compostos utilizados nos dois ensaios.

## **2.5. Taxa de mineralização**

A taxa de mineralização aparente de N (%), nos dois ensaios, foi estimada pela diferença entre o N acumulado nas plantas de alface e da couve repolho produzidas com e sem composto, após subtração do N mineral existente no composto aplicado ao solo, a dividir pelo N orgânico do respectivo composto.

## **2.6. Análise estatística**

A comparação entre tratamentos ou factores principais realizou-se através da análise de variância dos três factores e do cálculo da menor diferença significativa ( $P < 0,05$ ) entre médias de resultados, recorrendo ao programa SPSS v. 15.0.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Ensaio da cultura da alface

##### 3.1.1. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas

O peso fresco (PF) das folhas da alface, para o conjunto dos tratamentos, aumentou significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa, Nutrimais e calcário (figura 3.1.). Os aumentos de produção foram significativos ( $P < 0,05$ ) para a média dos tratamentos com fosfato de Gafsa e calcário, contribuindo com aumentos médios de 23% e 20% de produção, respectivamente. No entanto, os aumentos mais significativos de produção verificaram-se com a aplicação de Nutrimais, que contribuiu para aumento médio de produção de 63% quando aplicado na dose de  $15 \text{ t ha}^{-1}$ , duplicando a produção de alface (105%) com a aplicação na dose mais elevada ( $30 \text{ t ha}^{-1}$ ). O aumento de produção média da dose de 15 para  $30 \text{ t ha}^{-1}$  foi de 25%.

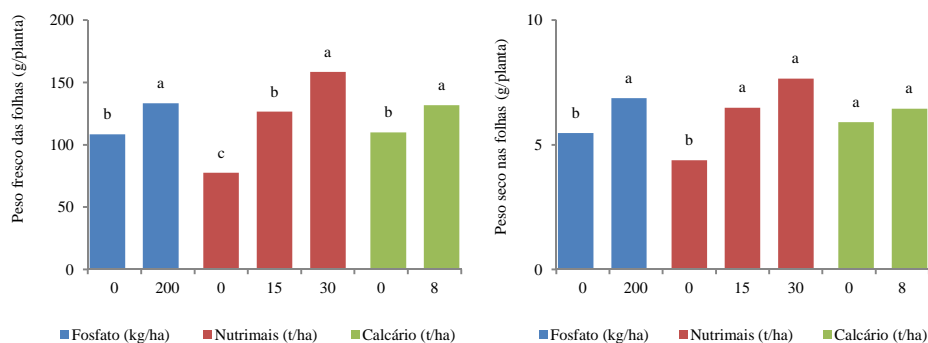


Figura 3.1. Peso fresco e peso seco nas folhas de alface.

O peso seco (PS) das folhas, aumentou com a aplicação de fosfato Gafsa, Nutrimais e calcário (figura 3.1.), no entanto só houve aumentos significativos ( $P < 0,05$ ) com a aplicação de fosfato de Gafsa e com aplicação de composto na dose de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  em comparação com  $0 \text{ t ha}^{-1}$ . A aplicação de fosfato aumentou o PS em 25%. A dose de aplicação de Nutrimais que mais contribuiu para o aumento de PS nas folhas de alface foi de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  com 47%, tendo sido de 18% com a aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  em comparação com a dose de  $15 \text{ t ha}^{-1}$ . A aplicação de calcário contribuiu para um aumento do PS das folhas de alface em 8%, embora não significativo.

O teor de matéria seca (MS%) variou entre 4,9 e 5,7%. Não houve variação significativa do teor de matéria seca com a aplicação de fosfato de Gafsa. O teor de matéria seca das folhas de alface diminuiu com a aplicação de composto, sendo de forma significativa na



dose de aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> comparativamente a 15 t ha<sup>-1</sup>. O teor de MS diminuiu significativamente com a aplicação de calcário (figura 3.2.).

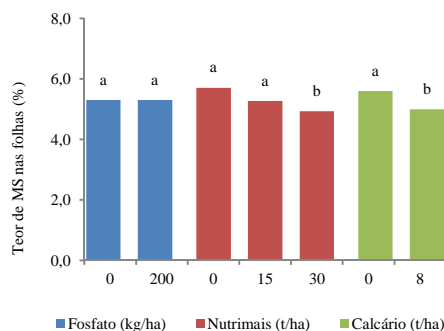


Figura 3.2. Teor (%) de matéria seca (MS) nas folhas de alface.

### 3.1.2. Teores e acumulação de nutrientes nas folhas de alface

Os teores (mg g<sup>-1</sup>) de nutrientes nas folhas da alface estão representados no quadro 3.1., para cada um dos tratamentos e a acumulação (mg planta<sup>-1</sup>) de nutrientes para o conjunto de tratamentos está representada na figura 3.3.

O teor de N aumentou com a aplicação de fósforo de Gafsa embora não de forma significativa na média de todos os tratamentos (quadro 3.1.). Verificaram-se aumentos no teor de N com a aplicação de calcário, sendo de forma significativa com a aplicação de composto na dose de 30 t ha<sup>-1</sup> com e sem fósforo de Gafsa (quando comparado com tratamentos com aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> com ou sem fósforo de Gafsa e sem calcário) (quadro 3.1.). A aplicação de composto diminuiu o teor de N com a aplicação de composto na dose de 15 t ha<sup>-1</sup> com e sem a aplicação de calcário e sem fósforo (comparado respectivamente com os tratamentos só com aplicação de calcário e sem fertilizantes) e na dose de 30 t ha<sup>-1</sup> sem a aplicação de calcário e de fósforo (em comparação com tratamento com 15 t ha<sup>-1</sup> de composto e sem calcário nem fósforo) (quadro 3.1.). Os teores de N aumentaram nas folhas de alface, para as mesmas doses de composto, com a aplicação de calcário e fósforo de Gafsa, tendo sido significativo com a aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> (quadro 3.1.).

A aplicação de fósforo de Gafsa não aumentou o teor de P nas folhas de alface com excepção quando aplicado sem composto e sem calcário (comparado com tratamento sem fertilizantes). A diminuição do teor de P, com a aplicação de fósforo de Gafsa, foi significativa quando aplicado com 30 t ha<sup>-1</sup> de composto sem calcário (comparado com

tratamento com 30 t ha<sup>-1</sup> de composto, sem calcário e sem fosfato) (quadro 3.1.). A aplicação de calcário somente aumentou o teor de P quando aplicado sem composto, sem e com fosfato de Gafsa (comparado respectivamente com tratamentos sem fertilizantes e com o tratamento sem composto, sem calcário e com fosfato) (quadro 3.1.).

O teor de K diminuiu com a aplicação de fosfato com a aplicação de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com calcário (comparado com tratamentos com aplicação de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com calcário e sem fosfato) (quadro 3.1.). O teor de K diminuiu sempre com a aplicação de calcário quando aplicado com fosfato de Gafsa, em comparação com os tratamentos com fosfato, com aplicação de composto e sem aplicação de calcário (quadro 3.1.). A aplicação de calcário aumentou os teores de Ca em todos os tratamentos (quadro 3.1.).

Relativamente aos restantes nutrientes, com excepção do teor de Mg que aumentou com a aplicação de calcário, não se verificaram diferenças significativas na sua concentração entre alfaces produzidas com os diferentes fertilizantes. Os teores mais elevados nas folhas da alface foram o N e o K (quadro 3.1.), o que justifica que fossem, também, os nutrientes mais absorvidos pelas folhas de alface (figura 3.3.).

Quadro 3.1. Teores de nutrientes (mg g<sup>-1</sup>) nas folhas da alface.

Calcário	Composto	f. de Gafsa	Folhas de alface					
			N	P	K	Ca	Mg	Fe
t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	----- mg g <sup>-1</sup> PS -----					
0	0	0	21,3	2,7	32,9	6,6	3,2	1,7
0	0	200	23,5	2,7	41,9	6,8	4,6	1,3
0	15	0	20,8	3,1	41,9	11,6	2,9	2,4
0	15	200	21,4	2,8	47,5	7,2	3,6	3,6
0	30	0	20,0	3,4	34,9	6,5	2,6	0,8
0	30	200	23,0	2,9	49,8	6,9	4,6	1,6
8	0	0	26,5	2,9	36,0	10,8	4,2	1,6
8	0	200	28,5	2,9	41,4	9,3	5,2	1,2
8	15	0	25,0	2,8	47,1	12,2	3,4	1,3
8	15	200	25,8	2,7	42,3	8,6	4,6	1,7
8	30	0	28,4	2,9	52,5	10,5	3,4	1,6
8	30	200	30,9	2,7	48,0	8,0	5,0	1,3
Menor diferença significativa ( $p \leq 0,05$ )			6,0	0,4	13,0	6,8	1,8	2,2

A absorção e consequente acumulação (mg planta<sup>-1</sup>) de macronutrientes principais, N, P e K, no conjunto dos tratamentos, aumentou significativamente ( $P < 0,05$ ) nas folhas de alface produzidas com fosfato de Gafsa ou composto, mas apenas a acumulação de N aumentou de forma significativa com a aplicação de calcário (figura 3.3.). O aumento

médio na acumulação de N na alface com 15 t ha<sup>-1</sup> e 30 t ha<sup>-1</sup> de composto, em comparação com 0 t ha<sup>-1</sup>, correspondeu respectivamente a 45 e 94 mg N planta<sup>-1</sup> (figura 3.3.).

A acumulação de P nas folhas de alface aumentou significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa em 3 mg P planta<sup>-1</sup> e com a aplicação de composto, respectivamente para a aplicação de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, em 6 e 10 mg P planta<sup>-1</sup>, comparativamente a 0 t ha<sup>-1</sup> (figura 3.3.). A aplicação de calcário não aumentou a acumulação de P significativamente (figura 3.3.).

A acumulação de K aumentou significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa em 72 mg K planta<sup>-1</sup> e com a aplicação de composto com aumentos na acumulação de K que foram de 126 e 201 mg K planta<sup>-1</sup>, respectivamente para aplicações de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, comparativamente a 0 t ha<sup>-1</sup>. A acumulação de K nas folhas não aumentou significativamente com a aplicação de calcário (figura 3.3.).

A acumulação de Ca aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa, calcário e com a aplicação de composto (figura 3.3.) na dose de aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup>, tendo sido de forma significativa só com composto (na dose de aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup>) e calcário, respectivamente com acréscimos de 43 e 29 mg de Ca planta<sup>-1</sup> (figura 3.3.).

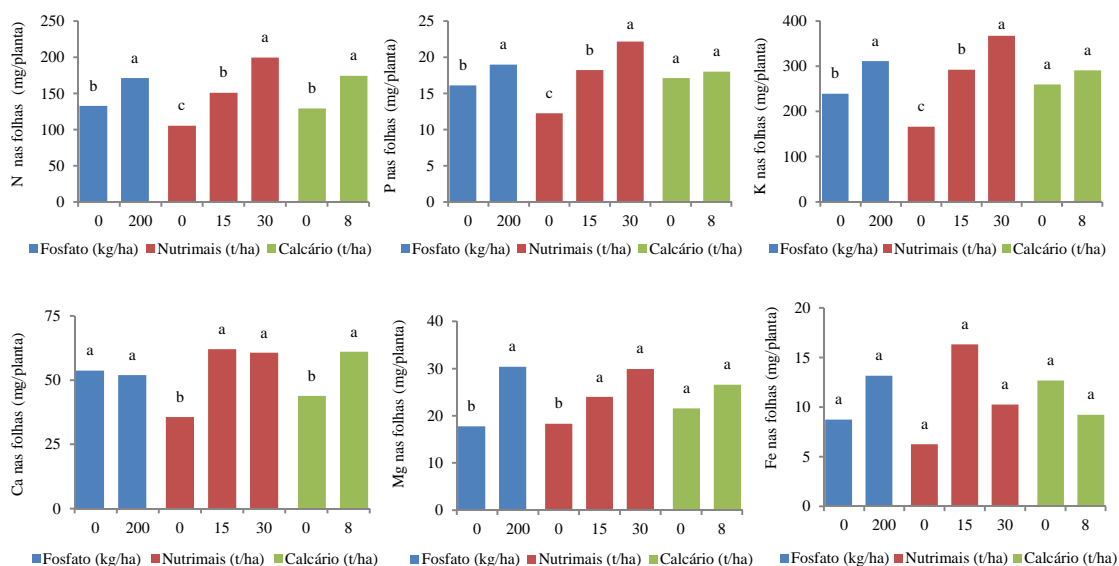


Figura 3.3. Acumulações de nutrientes (mg planta<sup>-1</sup>) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas de alface.

A acumulação de Mg nas folhas aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa, composto e calcário. O fosfato de Gafsa e a aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto, proporcionaram

aumentos significativos, respectivamente de 13 e 11 mg Mg planta<sup>-1</sup> (comparado com 0 t ha<sup>-1</sup> de composto) (figura 3.3.).

O Fe só obteve aumentos com a aplicação de fosfato de Gafsa e composto na dose de 15 t ha<sup>-1</sup> embora não de forma significativa (figura 3.3.).

### 3.1.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes

O PF das raízes da alface, para o conjunto de tratamentos, aumentou em média com a aplicação de fosfato de Gafsa, composto e calcário, embora só significativamente com a aplicação de composto (figura 3.4.), respectivamente nas doses de aplicação de 15 e de 30 t ha<sup>-1</sup> em 49 e 70% em comparação com 0 t ha<sup>-1</sup>. O aumento do PF das raízes da alface de 15 para 30 t ha<sup>-1</sup> de composto foi de 20% (figura 3.4.).

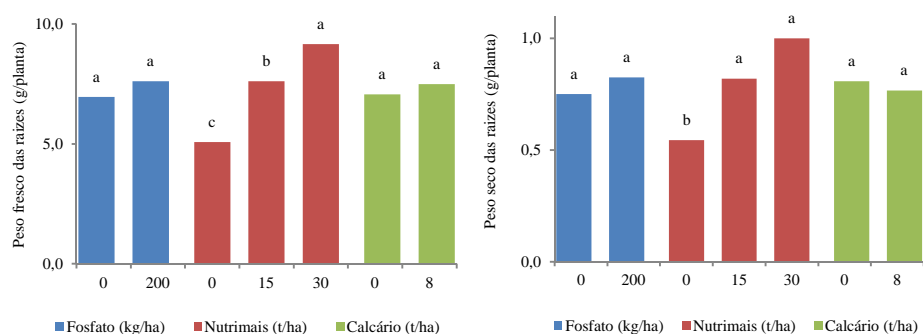


Figura 3.4. Peso fresco e peso seco das raízes da alface.

O PS das raízes da alface, para o conjunto de tratamentos, aumentou em média com a aplicação de fosfato de Gafsa e composto mas só de forma significativa ( $P < 0,05$ ) com a aplicação de composto entre a dose de 0 e 15 t ha<sup>-1</sup> (figura 3.4.). Verificou-se uma diminuição do PS das raízes da alface com a aplicação de calcário, embora não significativa.

O teor (%) de matéria seca (MS) das raízes da alface variou entre 10,1 e 10,9%, tendo-se verificado diminuição significativa com a aplicação de calcário (figura 3.5.).

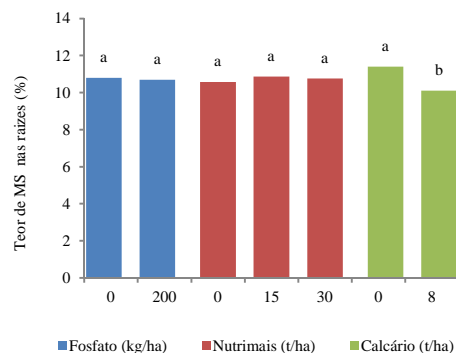


Figura 3.5. Teor (%) de matéria seca (MS) nas raízes de alface.

### 3.1.4. Teores e acumulação de nutrientes nas raízes da alface

Os teores ( $\text{mg g}^{-1}$ ) de nutrientes nas raízes da alface estão representados no quadro 3.2., para cada um dos tratamentos e a acumulação ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de nutrientes para o conjunto de tratamentos está representada na figura 3.6.

O teor de N nas raízes da alface aumentou na generalidade com a aplicação de fósforo de Gafsa com excepção do que se verificou entre o tratamento com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto sem calcário e sem fósforo e o tratamento com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto, sem calcário e com fósforo. O teor de N aumentou com a aplicação de calcário tendo sido significativo quando aplicado  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com fósforo, relativamente ao mesmo tratamento sem aplicação de calcário. O teor de N somente aumentou com a aplicação de composto na dose de aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  sem calcário e com calcário (comparado com tratamento com dose de aplicação de composto de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  sem fósforo e com calcário) e com a aplicação de composto na dose de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  sem calcário e com fósforo (comparado com tratamento com composto na dose de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  sem calcário e com fósforo) (quadro 3.2.).

A aplicação de fósforo de Gafsa diminuiu geralmente o teor de P nas raízes de alface com excepção da aplicação com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com calcário e com fósforo em comparação com o tratamento com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto, com calcário e sem fósforo (quadro 3.2.). A aplicação de calcário somente aumentou o teor de P nas raízes nos tratamentos com aplicação de calcário, sem composto e sem fósforo (comparado com tratamento sem fertilizantes), quando aplicado com fósforo e sem composto (em comparação com tratamento somente com fósforo) e quando aplicado com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto e com fósforo (comparado com tratamento com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com fósforo e sem calcário) (quadro 3.2.).

O teor de K nas raízes da alface, diminuiu com a aplicação de fosfato de Gafsa quando aplicado nos tratamentos com calcário e sem composto, quando aplicado com 15 t ha<sup>-1</sup> sem calcário e quando aplicado com 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com calcário em comparação com os respectivos tratamentos sem fosfato. A aplicação de calcário aumentou o teor de K quando aplicado com 30 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fosfato (comparado com tratamento com 30 t ha<sup>-1</sup> sem fosfato e sem calcário) e nas doses de aplicação de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato (comparados com os respectivos tratamentos com 15 e 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato e sem calcário). A aplicação de composto aumentou o teor de K com exceção da aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto, sem fosfato e sem calcário (em comparação com o tratamento na dose de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fosfato e sem calcário) e com a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato e sem calcário (comparado com tratamento sem composto, sem calcário e com fosfato) (quadro 3.2.).

A aplicação de calcário aumentou o teor de Ca nas raízes da alface, sendo esse aumento significativo quando aplicado em conjunto com 15 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato (comparado com respectivo tratamento, mas sem calcário) (quadro 3.2.).

Os teores mais elevados de nutrientes nas raízes da alface foram o N e o K, resultando simultaneamente numa maior acumulação destes nutrientes nas raízes da alface (quadro 3.2.).

Quadro 3.2. Teores de nutrientes (mg g<sup>-1</sup>) nas raízes da alface.

Calcário	Composto	f. de Gafsa	Raízes da alface					
			N	P	K	Ca	Mg	Fe
t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	----- mg g <sup>-1</sup> PS -----					
0	0	0	10,6	1,7	6,6	1,1	1,0	0,4
0	0	200	11,0	1,5	8,1	2,2	1,5	0,6
0	15	0	10,1	1,6	8,5	1,7	1,1	0,4
0	15	200	9,9	1,6	6,3	0,8	0,5	0,2
0	30	0	8,9	2,0	8,4	1,4	0,8	0,4
0	30	200	9,9	1,6	10,2	1,1	0,7	0,5
8	0	0	13,6	1,8	6,6	1,8	1,0	0,4
8	0	200	13,8	1,7	5,7	4,1	2,2	0,4
8	15	0	10,3	1,4	7,1	2,2	1,2	0,6
8	15	200	13,7	1,7	9,3	4,4	1,3	0,4
8	30	0	11,9	1,6	11,0	1,7	1,0	0,8
8	30	200	13,0	1,5	10,3	1,3	1,0	0,5
Menor diferença significativa ( $p \leq 0,05$ )			3,4	0,3	4,4	2,1	0,8	0,4

A aplicação de fosfato de Gafsa proporcionou aumentos não significativos ( $P < 0,05$ ) de respectivamente, 1,3, 0,07, 0,6, 1,63 e 0,1 mg planta<sup>-1</sup>, nas acumulações de N, P, K, Ca e

Mg, nas raízes da alface, tendo a acumulação de Fe diminuído com a aplicação de fosfato de Gafsa (figura 3.6.).

Com a aplicação de composto verificaram-se aumentos na acumulação de N, P, K, Mg e Fe nas raízes da alface (figura 3.6.). Os aumentos médios foram significativos com a aplicação de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, para N, (com aumentos respectivos de 2,7 e 4,67 mg N planta<sup>-1</sup>, comparativamente a 0 t ha<sup>-1</sup>) e para P (com aumentos respectivos de 0,41 e 0,73 mg P planta<sup>-1</sup>, comparativamente a 0 t ha<sup>-1</sup>) (figura 3.6.). A acumulação média de K e de Fe nas raízes, só foi significativa na aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup>, comparativamente a 15 t ha<sup>-1</sup> de composto (figura 3.6.). Houve aumentos médios não significativos na acumulação de Mg com a aplicação de composto para as duas doses de aplicação (15 e 30 t ha<sup>-1</sup>) e de Ca só na aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup>, em ambos os nutrientes, comparativamente a 0 t ha<sup>-1</sup> (figura 3.6.).

A aplicação de calcário proporcionou aumentos médios não significativos na acumulação de N, K, Mg e Fe e significativo na absorção de Ca nas raízes da alface (figura 3.6.). A acumulação de P diminui com a aplicação de calcário de forma não significativa.

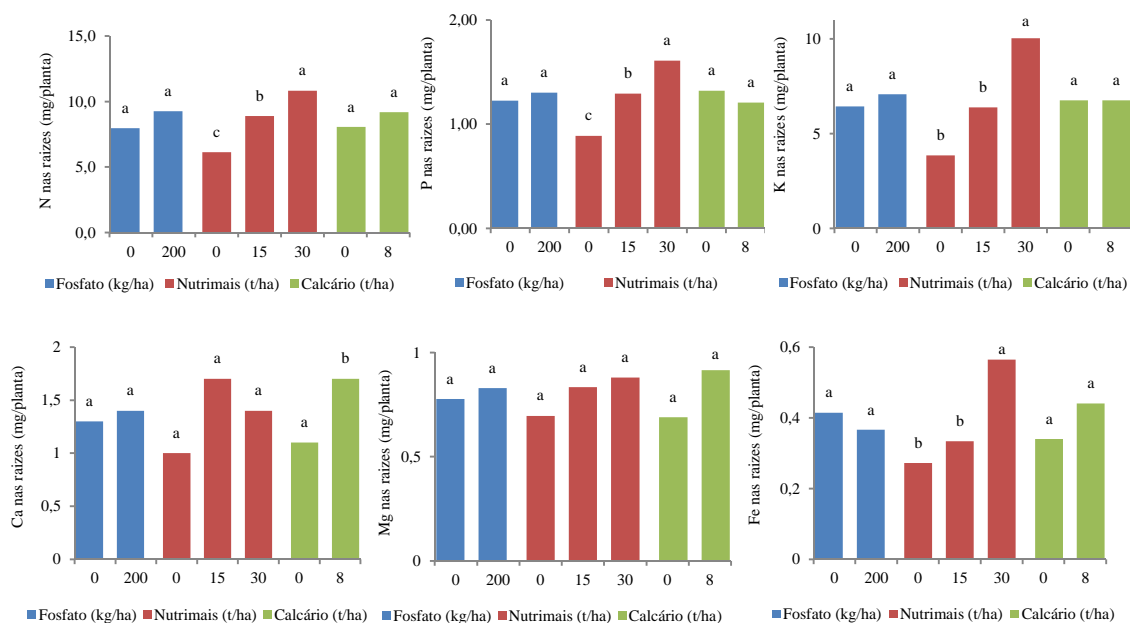


Figura 3.6. Acumulações de nutrientes (mg planta<sup>-1</sup>) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas raízes de alface.

### 3.1.5. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes nas folhas e nas raízes

No quadro 3.3., apresentam-se os valores das razões entre o teor de N e os teores dos outros nutrientes analisados nas folhas de alface.

A razão entre o teor N/P variou entre 8-10 e aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa e de calcário e foi superior nas folhas (quadro 3.3.) em comparação com as raízes (quadro 3.4.). Verificaram-se valores de 2-3 para a razão N/Ca e de 6-7 para a razão N/Mg. Apenas a razão N/K foi inferior a 1 (quadro 3.3.).

Quadro 3.3. Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas folhas de alface para o conjunto de tratamentos.

Fosfato (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Composto (t ha <sup>-1</sup> )	Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	N/Fe
0			8	0,6	2	7	15
200			9	0,5	3	6	13
	0		9	0,6	3	6	17
	15		8	0,5	2	6	9
	30		9	0,5	3	7	19
		0	8	0,5	3	6	10
		8	10	0,6	3	7	19

No quadro 3.4., apresentam-se os valores das razões entre o teor de N e os teores dos outros nutrientes nas raízes da alface.

A razão N/P, da mesma forma que nas folhas aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa e de calcário, variando no conjunto de tratamentos entre 6-8. As razões N/Ca e N/Mg variaram respectivamente entre 5-8 e 9-13, diminuindo com a aplicação de fosfato de Gafsa e de calcário. A razão N/K ao contrário das folhas foi superior a 1, revelando teores de K inferiores nas raízes relativamente aos teores nas folhas (quadro 3.4.).

A razão entre o teor de N e o teor dos restantes nutrientes foi superior nas raízes com excepção da N/P.

Quadro 3.4. Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas raízes da alface para o conjunto de tratamentos.

Fosfato (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Composto (t ha <sup>-1</sup> )	Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	N/Fe
0			6	1,4	7	11	22
200			7	1,4	5	10	28
	0		7	1,8	5	9	28
	15		7	1,4	5	11	27
	30		7	1,1	8	13	20
		0	6	1,3	7	11	25
		8	8	1,5	5	10	25



### 3.1.6. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes

No quadro 3.5. apresentam-se os valores da razão do PF, PS e teores de nutrientes entre as folhas e raízes. A razão entre o PF e o PS das folhas e das raízes aumentou com a aplicação de fertilizantes com excepção do PS que diminuiu com a aplicação de composto.

A concentração de nutrientes nas folhas foi sempre superior à sua concentração nas raízes. Os teores de N e de P duplicaram nas folhas em relação às raízes, os teores de K e Ca foram aproximadamente cinco vezes superiores nas folhas enquanto os teores de Mg e Fe aumentaram entre três e quatro vezes (quadro 3.5.).

Quadro 3.5. Razão entre o teor de nutrientes nas folhas e nas raízes da alface para o conjunto de tratamentos.

Fosfato (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Composto (t ha <sup>-1</sup> )	Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	PF	PS	N	P	K	Ca	Mg	Fe
0			15,6	7,3	2,2	1,8	5,1	5,8	3,3	3,2
200			17,5	8,3	2,1	1,7	5,4	3,4	3,9	4,2
	0		15,3	8,1	2,0	1,7	5,6	3,6	3,0	3,3
	15		16,6	7,9	2,1	1,8	5,8	4,4	3,6	5,6
	30		17,3	7,7	2,3	1,8	4,6	5,7	4,4	2,4
		0	15,5	7,3	2,2	1,8	5,2	5,4	3,9	4,6
		8	17,6	8,4	2,2	1,7	5,3	3,8	3,3	2,8

### 3.1.7. Taxa de mineralização

O aumento médio de N acumulado nas folhas e raízes de alface com a aplicação de composto nas doses de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup> em comparação com 0 t ha<sup>-1</sup> foi respectivamente 48 e 99 mg N planta<sup>-1</sup>. Este aumento de absorção de N foi inferior aos somatórios do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> existente no Nutrimais, nas doses aplicadas de 15 e de 30 t ha<sup>-1</sup>, que foi respectivamente de 120 e 240 mg N mineral/planta. Considerando que o N mineral contido no Nutrimais foi superior à diferença entre a acumulação média de N nas folhas de alface com o compostado e a alface testemunha (sem composto), não foi possível estimar a mineralização do N orgânico durante o período experimental da alface.

## 3.2. Ensaio da cultura de couve repolho

### 3.2.1. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das folhas

O peso fresco das folhas da couve repolho, para o conjunto de tratamentos aumentou significativamente com a aplicação de cada um dos factores: fosfato de Gafsa, composto e

calcário (figura 3.7.). Apesar dos aumentos de produção terem sido significativos ( $P < 0,05$ ) para o conjunto de tratamentos com fosfato de Gafsa ou com calcário, contribuindo para aumentos médios de 25% e de 10% de produção respectivamente, os aumentos mais significativos de produção verificaram-se com a aplicação de composto que contribuiu para um aumento médio de produção de 44% quando aplicado na dose de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  e de 64% com a dose mais elevada de  $30 \text{ t ha}^{-1}$ , comparativamente a  $0 \text{ t ha}^{-1}$ . O aumento de PF de 15 para  $30 \text{ t ha}^{-1}$  foi de 14% (figura 3.7.).

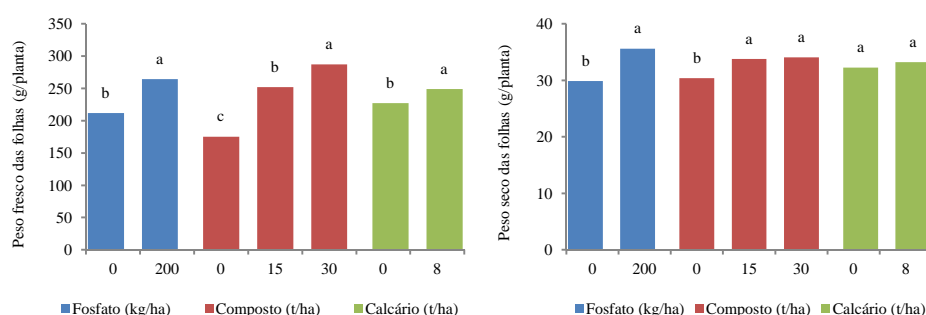


Figura 3.7. Peso fresco e peso seco nas folhas da couve repolho.

O efeito do calcário e do fosfato de Gafsa na produção da couve repolho foi mais evidente quando não se aplicou composto. Assim e neste caso, o efeito do calcário foi mais forte quando não se aplicou fosfato de Gafsa, com aumento de produção de 39%, e o efeito do fosfato de Gafsa foi mais forte quando não se aplicou calcário, com aumento de produção de 46%. Relativamente ao tratamento testemunha (sem qualquer fertilizante) a aplicação de fosfato de Gafsa e calcário, sem composto, aumentou a produção em 70%. Como não se verificou qualquer interacção entre estes três fertilizantes, nem de primeira, nem de segunda ordem, este aumento de produção na couve repolho foi ainda superior quando, para além da aplicação de fosfato de Gafsa e de calcário se aplicaram 15 e  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com aumentos respectivos de 125 e de 157%, uma vez que qualquer um dos 3 fertilizantes aplicados, teve um efeito claro no aumento de produção, independentemente das doses de aplicação de cada um dos outros fertilizantes.

O peso seco das folhas da couve repolho, para o conjunto de tratamentos, aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa, do composto e do calcário, embora esse aumento médio só tenha sido significativo com a aplicação de fosfato de Gafsa e de composto (figura 3.7.). A aplicação de fosfato de Gafsa contribuiu com aumento médio do PS das folhas da couve repolho em 19%. Com a aplicação de composto o aumento do PS nas folhas, só foi significativo com a aplicação na dose de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  em comparação com  $0 \text{ t ha}^{-1}$  de composto

(em 11%), uma vez que o aumento do PS não foi significativo com a aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> em comparação com a dose de 15 t ha<sup>-1</sup>. O aumento do PS com a aplicação de calcário não foi significativo (figura 3.7.).

O teor (%) de matéria seca (MS) variou entre 12 e 17,8%, tendo diminuído significativamente com a aplicação de todos os fertilizantes (figura 3.8.), dado o aumento de produtividade da couve repolho.

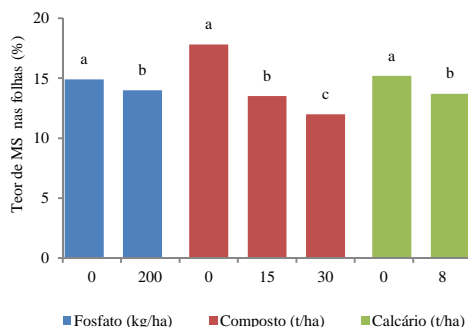


Figura 3.8. Teor (%) de matéria seca (MS) nas folhas de couve repolho.

### 3.2.2. Teores e absorção de nutrientes nas folhas da couve repolho

Os teores (mg g<sup>-1</sup>) de nutrientes nas folhas da couve repolho estão representados no quadro 3.6., para cada um dos tratamentos e a acumulação (mg planta<sup>-1</sup>) de nutrientes para o conjunto de tratamentos está representada na figura 3.9.

O teor de N nas folhas da couve repolho aumentou com a aplicação de fósforo de Gafsa com exceção no tratamento com aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto e calcário (comparado com tratamento respectivo sem fósforo). O aumento do teor de N nas folhas da couve repolho, com a aplicação de fósforo foi significativo, quando aplicado sem composto e sem calcário (comparado com tratamento testemunha – sem fertilizantes) e com a aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto e sem calcário (comparado com respectivo tratamento sem fósforo) (quadro 3.6.). A aplicação de calcário aumentou o teor de N nas folhas da couve repolho com exceção do tratamento com aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto e com fósforo (comparado com respectivo tratamento sem calcário). O aumento do teor de N foi significativo, com a aplicação de calcário nos tratamentos sem fósforo e sem composto (comparado com tratamento sem fertilizantes) e com aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fósforo (comparado com tratamento respectivo sem calcário) (quadro 3.6.). A aplicação de composto aumentou o teor de N nas folhas da couve repolho, tendo sido de

forma significativa em todos os tratamentos com exceção quando aplicado 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com calcário e com/sem fosfato de Gafsa (comparativamente aos tratamentos respectivos sem calcário com/sem fosfato). Os teores de N aumentaram nas folhas da couve repolho, para as mesmas doses de composto, com a aplicação de calcário e fosfato de Gafsa (quadro 3.6.).

Relativamente aos restantes nutrientes, a aplicação de fosfato de Gafsa aumentou o teor de P com exceção do tratamento com aplicação de calcário sem composto (comparativamente ao tratamento só com calcário). O aumento foi significativo com a aplicação de fosfato quando aplicado sem composto e sem calcário (comparativamente ao tratamento sem fertilizantes). A aplicação de calcário aumentou o teor de P nos tratamentos sem composto e sem fosfato de forma significativa (comparado com tratamento sem fertilizantes), quando aplicado com 15 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fosfato (comparado com tratamento somente com 15 t ha<sup>-1</sup> de composto) e quando aplicado com fosfato sem composto (comparado com tratamento somente com fosfato). A aplicação de composto aumentou os teores de P nas folhas da couve repolho com exceção da aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com calcário e sem fosfato em comparação com a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fosfato e com calcário (quadro 3.6.).

O teor de K aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa com exceção da aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto sem calcário (comparado com tratamento respectivo sem fosfato). A aplicação de calcário aumentou o teor de K com a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fosfato (comparado com tratamento respectivo sem calcário), com a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato (comparado com tratamento respectivo sem calcário) e com a aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato (comparado com tratamento respectivo sem calcário). A aplicação de composto aumentou o teor de K com exceção da aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com calcário e sem fosfato em comparação com a aplicação com a dose de aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> sem fosfato e sem calcário (quadro 3.6.).

A aplicação de calcário aumentou o teor de Ca nas folhas da couve repolho com aumento significativo na aplicação com/sem fosfato e sem composto (quadro 3.6.).

Os teores de Mg foram superiores aos de P nos tratamentos com aplicação de 15 e de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato e sem calcário. Os teores de Fe variaram entre 0,1 e 0,4 mg g<sup>-1</sup> (quadro 3.6.).

Os teores mais elevados nas folhas da couve repolho foram o K e o N, mas o teor de Ca foi igualmente elevado, tendo o P teores nas folhas de couve repolho superiores aos teores de Mg (quadro 3.6.) e os nutrientes mais absorvidos pelas folhas da couve repolho foram o N, o K e o Ca (figura 3.9.).

Quadro 3.6. Teores de nutrientes ( $\text{mg g}^{-1}$ ) nas folhas da couve repolho.

Calcário	Composto	f. de Gafsa	Folhas de couve repolho					
			N	P	K	Ca	Mg	Fe
t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	----- mg g <sup>-1</sup> PS -----					
0	0	0	10,5	2,1	21,8	13,7	1,7	0,1
0	0	200	16,2	3,0	23,8	13,5	1,7	0,1
0	15	0	26,6	3,9	23,8	13,4	2,7	0,3
0	15	200	30,1	4,2	27,0	16,3	4,4	0,2
0	30	0	33,4	4,1	34,4	15,4	4,0	0,2
0	30	200	38,0	4,3	27,7	17,4	4,4	0,3
8	0	0	20,5	3,3	18,6	19,1	1,3	0,1
8	0	200	22,8	3,2	21,3	23,5	1,7	0,1
8	15	0	34,4	4,0	33,8	17,1	2,9	0,2
8	15	200	33,8	4,0	38,9	17,3	2,9	0,3
8	30	0	35,7	3,9	26,2	18,6	2,6	0,4
8	30	200	35,8	4,1	50,0	18,9	2,8	0,1
Menor diferença significativa (p≤0,05)			3,9	0,6	21,4	5,1	1,1	0,3

A acumulação ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de macronutrientes principais, N, P e K, aumentou nas folhas de couve repolho com a aplicação dos fertilizantes utilizados. No entanto, somente o N aumentou significativamente ( $P < 0,05$ ) nas folhas das couves produzidas com fosfato de Gafsa, composto e calcário para o conjunto dos tratamentos, tendo a acumulação de P e de K aumentado significativamente com a aplicação de fosfato e com a aplicação de composto na dose de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  comparativamente a  $0 \text{ t ha}^{-1}$  (figura 3.9.). O aumento médio na acumulação de N nas folhas da couve repolho com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  e  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto, em comparação com  $0 \text{ t ha}^{-1}$ , correspondeu respectivamente a 508 e 681  $\text{mg N planta}^{-1}$  (573 e 718  $\text{mg N planta}^{-1}$ , folhas mais raízes), tendo a acumulação de N nas folhas da couve repolho aumentado 173  $\text{mg N planta}^{-1}$  quando aplicados  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto em comparação com a aplicação de  $15 \text{ t ha}^{-1}$ . O aumento da acumulação média de N com a aplicação de fosfato de Gafsa e de calcário foi, respectivamente de 237 e 178  $\text{mg N planta}^{-1}$ . A acumulação de P nas folhas de couve repolho aumentou significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa em 28  $\text{mg P planta}^{-1}$ , com a aplicação de composto na dose de aplicação de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  em 47  $\text{mg P planta}^{-1}$ , não havendo aumento significativo com a

aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup>. A aplicação de calcário não fez aumentar a acumulação de P significativamente, cujo aumento foi de 7 mg P planta<sup>-1</sup>. A acumulação de K aumentou significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa em 357 mg K planta<sup>-1</sup> e com a aplicação de composto na dose de 30 t ha<sup>-1</sup>, comparativamente a 0 t ha<sup>-1</sup> em 562 mg K planta<sup>-1</sup> (figura 3.9.). A acumulação de K nas folhas aumentou significativamente com a aplicação de calcário, cujo aumento foi de 357 mg K planta<sup>-1</sup> (figura 3.9.).

A acumulação de Ca nas folhas de couve repolho aumentou em média significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa e calcário (figura 3.9.), respectivamente 154 e 147 mg Ca planta<sup>-1</sup>. A aplicação de composto não proporcionou aumentos significativos de Ca.

A acumulação de Mg nas folhas aumentou significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa e com a aplicação de composto na dose de aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente 30 e 60 mg Mg planta<sup>-1</sup> (figura 3.9.). A aplicação de calcário proporcionou uma diminuição significativa na acumulação de Mg em 24 mg Mg planta<sup>-1</sup>.

A acumulação de Fe aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa e composto na dose de 15 t ha<sup>-1</sup> (figura 3.9.), mas só de forma significativa com a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup>. Não houve aumento médio de acumulação de Fe com a aplicação de calcário.

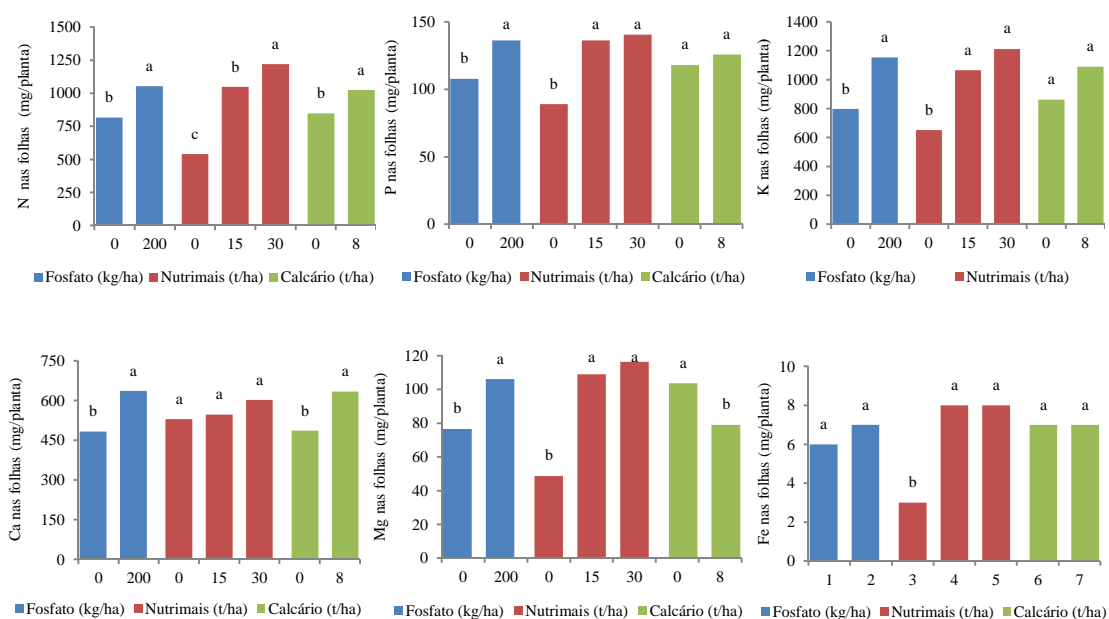


Figura 3.9. Acumulações de nutrientes (mg planta<sup>-1</sup>) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas folhas da couve repolho.

### 3.2.3. Peso fresco, peso seco e teor de matéria seca das raízes

O PF das raízes da couve repolho, para o conjunto de tratamentos, aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa e calcário, embora não significativamente ( $P < 0,05$ ), em média 18% e 1%, respectivamente (figura 3.10.). O PF das raízes da couve repolho aumentou significativamente somente na dose de aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> em 35%, em comparação com a dose de aplicação de 0 t ha<sup>-1</sup> (figura 3.10.).

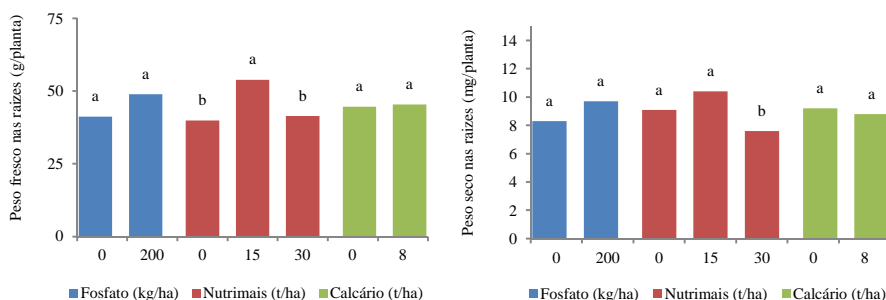


Figura 3.10. Peso fresco e peso seco nas raízes da couve repolho.

O PS das raízes da couve repolho, para o conjunto de tratamentos, aumentou (16%) com a aplicação de fosfato de Gafsa embora não de forma significativa (figura 3.10.). Verificou-se um aumento não significativo (14%) do PS nas raízes com a dose de aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> em comparação com a dose de 0 t ha<sup>-1</sup> e uma diminuição significativa do PS (27%) com a dose de aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> em relação ao PS verificado com 15 t ha<sup>-1</sup>. Verificou-se uma diminuição não significativa do PS das raízes da couve repolho em 4% com a aplicação de calcário (figura 3.10.).

O teor (%) de matéria seca (MS) nas raízes da couve repolho variou entre 18,3 e 22,7%, tendo diminuído com a aplicação de fertilizantes, mas só de forma significativa com a aplicação de composto em 19% na aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> (figura 3.11.).

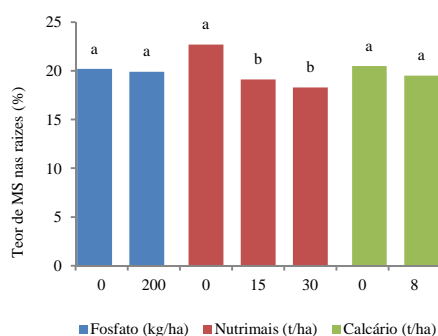


Figura 3.11. Teor (%) de matéria seca (MS) das raízes da couve repolho.

### 3.2.4. Teores e absorção de nutrientes nas raízes da couve repolho

Os teores ( $\text{mg g}^{-1}$ ) de nutrientes nas raízes da couve repolho, para os tratamentos estão representados no quadro 3.7., e a acumulação ( $\text{mg planta}^{-1}$ ) de nutrientes nas raízes estão representados na figura 3.12.

O teor de N nas raízes da couve repolho aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa excepto nos tratamentos com aplicação de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto sem calcário (comparado com tratamento somente com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto) e com a aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  com calcário (comparado com tratamento com aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com calcário e sem fosfato). A aplicação de calcário aumentou o teor de N nas raízes excepto quando aplicado com  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com fosfato (comparado com tratamento respectivo sem calcário). A aplicação de composto aumentou o teor de N nas raízes da couve repolho em todos os tratamentos. Os teores de N aumentaram nas raízes da couve repolho, para as mesmas doses de composto, com a aplicação de calcário e fosfato de Gafsa, com excepção da aplicação de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com fosfato e sem calcário (comparado com tratamento sem calcário e sem fosfato) e da aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com calcário e com fosfato (comparado com tratamento com  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com calcário e sem fosfato) (quadro 3.7.).

A aplicação de fosfato de Gafsa não contribuiu para aumentar significativamente o teor de P, o qual, foi o nutriente menos absorvido pelas raízes da couve, tendo até diminuído no tratamento com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto sem calcário (em comparação com tratamento somente com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto). A aplicação de calcário aumentou o teor de P nas raízes com excepção da aplicação com  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com/sem fosfato de Gafsa (em comparação com tratamentos respectivos sem calcário). A aplicação de composto aumentou o teor de P quando aplicado com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto sem calcário e sem fosfato de Gafsa (comparado com tratamento sem fertilizantes), com aplicação de  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com calcário e sem fosfato de Gafsa (comparado com tratamento somente com calcário) e com aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto sem calcário e com fosfato (comparado com tratamento com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto sem calcário e com fosfato de Gafsa) (quadro 3.7.).

O teor de K nas raízes da couve repolho somente aumentou com a aplicação de fosfato de Gafsa quando aplicado sem calcário e com  $15 \text{ t ha}^{-1}$  de composto (comparado com tratamento respectivo sem fosfato) e com a aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto com



calcário e com fosfato (comparado com tratamento respectivo sem fosfato). A aplicação de calcário somente aumentou o teor de K quando da aplicação sem composto e sem fosfato (comparado com tratamento sem fertilizantes), com aplicação de fosfato e sem composto (comparado com tratamento respectivo sem calcário) e significativamente com a dose de aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato (comparado com tratamento respectivo sem calcário). A aplicação de calcário reduziu significativamente o teor de K no tratamento com aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato e com calcário (comparativamente ao tratamento respectivo mas sem calcário) (quadro 3.7.). A aplicação de composto aumentou o teor de K quando aplicado na dose de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fosfato e sem calcário (comparado com tratamento sem fertilizantes), com aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato e sem calcário (comparado com tratamento somente com fosfato de Gafsa) e com a aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato e com calcário (comparado com tratamento com aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto com calcário e com fosfato) (quadro 3.7.). A aplicação de calcário aumentou o teor de Ca em todos os tratamentos, tendo sido significativos nos tratamentos com aplicação de calcário com aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto sem fosfato (comparado com tratamento somente com 15 t ha<sup>-1</sup> de composto), com aplicação de fosfato sem composto (comparado com tratamento somente com fosfato) e com aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto com fosfato (comparado com tratamento respectivo sem calcário) (quadro 3.7.).

Os nutrientes com maiores teores (quadro 3.7.) e mais absorvidos (figura 3.12.) pelas raízes da couve repolho foram o N, K, Ca, sendo que Mg e P obtiveram níveis de absorção razoáveis, apesar de valores inferiores aos três primeiros.

Quadro 3.7. Teores de nutrientes (mg g<sup>-1</sup>) nas raízes da couve repolho.

Calcário	Composto	f. de Gafsa	Raízes de couve repolho					
			N	P	K	Ca	Mg	Fe
t ha <sup>-1</sup>	t ha <sup>-1</sup>	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	----- mg g <sup>-1</sup> PS -----					
0	0	0	8,0	2,4	10,8	6,0	5,5	10,4
0	0	200	9,1	3,0	10,4	5,8	4,4	6,6
0	15	0	14,3	3,0	12,8	7,3	2,1	3,3
0	15	200	14,2	2,8	14,5	9,5	4,9	7,7
0	30	0	15,7	2,7	10,8	10,8	3,6	3,8
0	30	200	16,4	3,0	7,8	5,9	3,5	4,2
8	0	0	10,0	3,0	12,3	11,6	6,2	10,0
8	0	200	11,8	3,3	12,4	12,9	2,9	7,2
8	15	0	14,7	3,2	11,0	17,5	2,4	3,6
8	15	200	15,1	3,2	7,4	11,0	2,2	3,3
8	30	0	16,8	2,6	8,8	12,2	1,5	2,0
8	30	200	16,3	2,9	10,4	12,6	2,1	2,5
Menor diferença significativa ( $p \leq 0,05$ )			3,2	1,2	5,1	6,2	2,5	3,8

A aplicação de fosfato de Gafsa proporcionou aumentos médios, nas raízes da couve repolho, não significativos ( $P < 0,05$ ) de 28, 6, 17,1, 12,7, 3,9 e 8,5 mg planta<sup>-1</sup>, respectivamente nas acumulações de N, P, K, Ca, Mg e Fe (figura 3.12.).

A aplicação de composto resultou em aumentos médios na acumulação de N, P, K e Ca para a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente de 65,6, 4,6, 22,3 e 48,6 mg planta<sup>-1</sup>, tendo sido aumento significativo somente para o N. A aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de composto proporcionou diminuição na acumulação de todos os nutrientes nas raízes da couve repolho comparativamente á dose de aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto. As maiores acumulações de nutrientes verificaram-se na dose de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto para o N, P, K e Ca. As maiores acumulações de Mg e Fe verificaram-se na dose de 0 t ha<sup>-1</sup> de composto, nos quais, as acumulações diminuíram com a aplicação das duas doses de aplicação de composto (figura 3.12.).

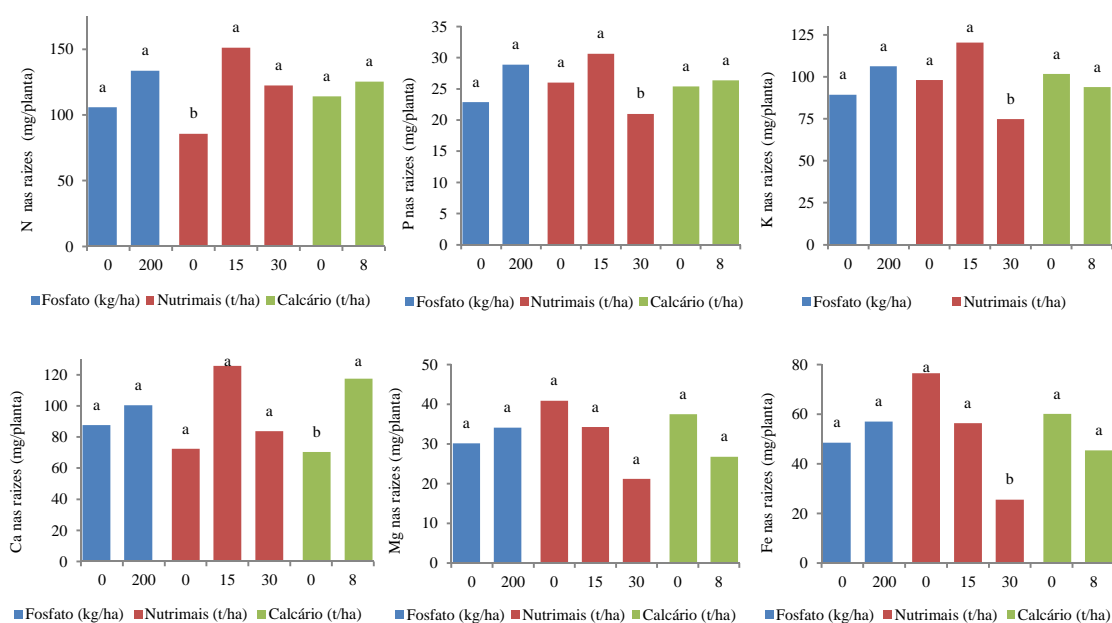


Figura 3.12. Acumulações de nutrientes (mg planta) de N, P, K, Ca, Mg e Fe nas raízes da couve repolho.

A aplicação de calcário contribuiu para aumentos médios, embora não significativos, na acumulação de N e P nas raízes da couve repolho, respectivamente de 11,1 e 1,0 mg planta<sup>-1</sup>, e uma diminuição não significativa na acumulação de K, Mg e Fe, respectivamente de 7,9, 10,7 e 14,7 mg planta<sup>-1</sup>. Só a aplicação de calcário proporcionou um aumento médio significativo na acumulação de Ca de 47 mg Ca planta<sup>-1</sup> (figura 3.12.).

### 3.2.5. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes nas folhas e nas raízes

Nos quadros 3.8. e 3.9., respectivamente apresentam-se os valores das razões entre o teor de N e os teores dos outros nutrientes nas folhas e nas raízes da couve repolho, para o conjunto de tratamentos.

A razão N/P variou entre 6-9 nas folhas (quadro 3.8.) e entre 3-6 nas raízes (quadro 3.9.), não se verificando alteração significativa com a aplicação de fosfato de Gafsa e de composto. No entanto a razão N/P aumentou com a aplicação de composto (revelando o benefício que o composto e o calcário proporcionaram no aumento do N em relação às folhas da couve repolho) (quadro 3.8.) e somente com a aplicação de composto nas raízes da couve repolho (quadro 3.9.).

A razão entre o teor de N e os teores dos outros nutrientes, nas folhas da couve repolho, revela valores de 2 para a razão N/Ca, e de 8-13 para a razão N/Mg. Apenas a razão N/K, nas folhas da couve repolho, é igual ou inferior a 1, revelando teores nas folhas da couve repolho para estes dois nutrientes bastantes idênticos. A razão N/Fe variou entre 128-169, patenteando a enorme diferença entre os teores entre estes dois nutrientes em claro benefício para o N (quadro 3.8.).

Quadro 3.8. Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas folhas da couve repolho para o conjunto de tratamentos.

Fosfato (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Composto (t ha <sup>-1</sup> )	Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	N/Fe
0			8	1,0	2	11	128
200			8	0,9	2	10	157
	0		6	0,8	1	11	169
	15		8	1,0	2	10	129
	30		9	1,0	2	10	147
		0	7	1,0	2	8	129
		8	8	0,9	2	13	157

A razão N/P variou entre 3-6 e aumentou só com a aplicação de composto, nas raízes da couve repolho (quadro 3.9.).

A aplicação de composto aumentou a razão entre o teor de N e o teor de todos os outros nutrientes, nas raízes da couve repolho (quadro 3.9.). A razão N/K foi na generalidade superior a 1 verificando-se teores de K inferiores nas raízes relativamente às folhas (quadro 3.9.). A razão N/Ca diminuiu, nas raízes de couve repolho com a aplicação de calcário (quadro 3.9.), tendo variado entre 1,0-1,6. As razões N/Mg e N/Fe variaram, respectivamente entre 3-6 e 1-5 (quadro 3.9.).

Quadro 3.9. Razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes nas raízes da couve repolho para o conjunto de tratamentos.

Fosfato (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Composto (t ha <sup>-1</sup> )	Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	N/P	N/K	N/Ca	N/Mg	N/Fe
0			5	1,2	1,2	4	22
200			5	1,3	1,3	4	28
	0		3	0,9	1,1	2	28
	15		5	1,3	1,2	4	27
	30		6	1,6	1,5	6	20
		0	5	1,1	1,6	3	25
		8	5	1,3	1,0	5	25

### 3.2.6. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes

No quadro 3.10., apresentam-se os valores da razão do PF, PS e os teores entre as folhas e raízes da couve repolho para o N, P, K, Ca, Mg e Fe.

Quadro 3.10. Razão entre o teor de nutrientes nas folhas e nas raízes da couve repolho para o conjunto de tratamentos.

Fosfato (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Composto (t ha <sup>-1</sup> )	Calcário (t ha <sup>-1</sup> )	PF	PS	N	P	K	Ca	Mg	Fe
0			5,1	3,6	2,0	1,3	2,4	1,5	0,7	0,0
200			5,4	3,7	2,1	1,3	3,0	1,9	0,9	0,0
	0		4,4	3,4	1,8	1,0	1,9	1,9	0,3	0,0
	15		4,7	3,3	2,1	1,3	2,7	1,4	1,1	0,1
	30		6,9	4,5	2,2	1,5	3,7	1,7	1,3	0,1
		0	5,1	3,5	2,0	1,3	2,4	2,0	0,8	0,0
		8	5,5	3,8	2,2	1,2	3,0	1,5	0,8	0,0

A razão entre o PF e o PS das folhas e das raízes da couve repolho aumentou com a aplicação de fertilizantes, com excepção para o PS que diminuiu com a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> de composto (quadro 3.10.).

A concentração dos nutrientes foi sempre superior nas folhas em comparação com as raízes (quadro 3.10.) excepto para o Fe e o Mg. Os teores de N e K duplicaram nas folhas em relação às raízes, sendo este aumento inferior para o P. A distribuição do N, P, K e Ca entre as folhas e as raízes foi realizada em benefício das folhas, mas em menor expressão para o P e o Ca em comparação com o N e o K (quadro 3.10.).

A figura 3.13. descreve as rectas de relação linear entre o teor nas folhas e o teor nas raízes para o N (com respectiva equação linear  $y=2,037x + 0,5826$  para  $p < 0,001$ ) e para o Ca (com respectiva equação linear  $y=0,2421x + 14,533$ , ns-não significativo). Assim, o teor de

N nas folhas depende em cerca de 67% (para  $r^2=0,677$ ), do teor de N nas raízes, dependência essa bem superior à correlação do Ca, o qual, o teor nas folhas depende cerca de 10,5% (para  $r^2=0,1058$ ), do teor nas raízes. O teor de Ca nas folhas quase não aumentou com o aumento do teor de Ca nas raízes (figura 3.13.). Em contraste, o aumento do teor de N da parte aérea foi semelhante ao aumento do teor de N das raízes, sendo sempre nas folhas, aproximadamente, o dobro do seu teor nas raízes. Enquanto o teor de Ca nas folhas foi superior ao dobro do teor das raízes para valores baixos destes teores na planta, foi muito semelhante entre ambas as partes da planta para valores mais elevados destes teores. Isso revela a maior mobilidade de N no interior da planta em comparação com o Ca, uma vez que ao contrário do sucedido para o N, os aumentos de Ca na raiz não resultaram em idênticos aumentos nas folhas (figura 3.13.).

A distribuição de Mg e Fe entre as folhas e as raízes foi realizada em benefício das raízes com exceção para o Mg com a aplicação de composto (quadro 3.10.).

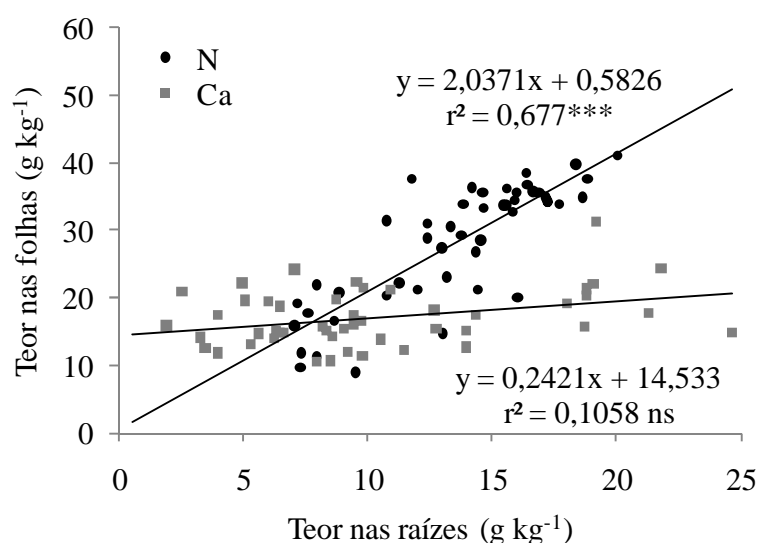


Figura 3.13. Relação entre o teor de azoto (N) e de cálcio (Ca) das folhas e das raízes da couve repolho (\*\*\*-( $p < 0,001$ ); ns-não significativo).

### 3.2.7. Taxa de mineralização

O aumento médio de N acumulado nas folhas e raízes da couve repolho com a aplicação de composto nas doses de 15 e 30  $\text{t ha}^{-1}$  em comparação com 0  $\text{t ha}^{-1}$  foi respectivamente de 573 e 718  $\text{mg N planta}^{-1}$ . Estes aumentos de absorção de N foram próximos das quantidades de N mineral ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ) existente no Nutrimais, nas doses aplicadas de 15 e de 30  $\text{t ha}^{-1}$ , que foi respectivamente de 415 e 830  $\text{mg N mineral/planta}$ , repostados

à matéria fresca de composto aplicado. Isto sugere que no tratamento com 30 t ha<sup>-1</sup> de composto o crescimento da couve repolho poderá não ter sido limitado pela disponibilidade de N, uma vez que a disponibilidade de N mineral do composto superou o aumento na acumulação média de N nas folhas e raízes da couve repolho. No entanto, no tratamento com aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup>, o N mineral disponibilizado pelo composto foi inferior à diferença na acumulação média de N entre as couves produzidas com 15 e 0 t ha<sup>-1</sup> de composto, tendo a planta necessidade de recorrer ao N mineralizado, durante os 87 dias de crescimento da couve, proveniente do N orgânico do composto. A taxa de mineralização do N orgânico do composto foi igual ou superior a 2,8%, neste período, somente para a dose de aplicação de composto de 15 t ha<sup>-1</sup>.

### 3.3. Teores de nutrientes nas folhas e nas raízes das plântulas da alface e da couve repolho

Os teores de nutrientes nas folhas e nas raízes das plantas de viveiro da alface e da couve repolho estão descritos no quadro 3.11.

Quadro 3.11. Teores de nutrientes nas folhas e nas raízes das plântulas de alface e da couve repolho

repolho	PF	PS	MS	N	P	K	Ca	Mg	Fe
	(g planta <sup>-1</sup> )		%	----- (mg g <sup>-1</sup> ) -----					
Alface									
Folhas	1,02	0,11	11	24,7	2,4	22,9	11,2	2,2	1,1
Raízes	0,48	0,054	11,3	11,1	1,8	10,4	3,4	1,0	0,5
Couve repolho									
Folhas	1,54	0,29	18,6	11,1	0,8	9,9	13,3	4,3	0,2
Raízes	0,38	0,06	16,8	15,3	1,2	4,3	7,4	2,5	0,7

Os teores nas folhas das plântulas da alface (quadro 3.11.) foram inferiores no P, K, Mg e Fe aos teores das folhas das alfaces colhidas no ensaio. Os teores de N nas folhas das plântulas foram superiores aos teores das folhas de alface colhidas nos tratamentos sem calcário (quadro 3.1.). Os teores de cálcio (quadro 3.11.) das folhas das plântulas de alface foram superiores aos teores das folhas de alface colhidas (quadro 3.1.).

Os teores de N das raízes das plântulas de alface (quadro 3.11.) foram superiores aos teores de N das raízes das alfaces colhidas no ensaio, relativamente aos tratamentos sem calcário das alfaces colhidas (quadro 3.2.). Os teores de P, K e Ca das raízes da plântulas da alface (quadro 3.11.) foram superiores aos teores das raízes das alfaces colhidas (quadro 3.2.). Os teores de Mg e Fe nas raízes da alface foram análogos em ambos os casos.

Os teores de N, P, K, Ca e de Mg das folhas das plântulas da couve repolho (quadro 3.11.) foram inferiores aos teores das couves repolho colhidas para todos os tratamentos (quadro 3.6.). Os teores de Fe foram similares em ambos os casos.

Os teores de N das raízes das plântulas de couve repolho (quadro 3.11.) foram superiores aos teores das raízes da couve repolho colhidas no ensaio em todos os tratamentos com exceção nos tratamentos com aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de composto (quadro 3.7.). Os teores de P, K, Mg e Fe das raízes das plântulas de couve repolho foram inferiores aos teores nas raízes das couves colhidas (quadro 3.7.). O teor de Ca nas raízes das plântulas da couve repolho (quadro 3.11.) foi inferior ao teor nas raízes colhidas nos tratamentos com cálcio (quadro 3.7.).

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Ensaio da alface

#### 4.1.1. Peso fresco da alface

O peso fresco da alface aumentou com a aplicação de quantidades crescentes de composto, de fosfato de Gafsa e de calcário atingindo produções semelhantes às referidas por Almeida, 2006, Pôrto et al., 2008 e MADRP/INIAP, 2005.

A aplicação de doses crescentes de composto aumentou a produção de alface significativamente, o que está de acordo com os resultados obtidos por outros autores. Radics et al. (2008) referiram um aumento da produção de alface com a utilização de composto à base de estrume de ovelha, com doses crescentes de 30, 60 e 120 t ha<sup>-1</sup>, o mesmo sucedendo com Pôrto et al. (2008), com doses crescentes (30, 60, 90, 120 e 150 t ha<sup>-1</sup>) de estrume de bovino. Manojlovic et al. (2009), num trabalho realizado durante dois anos, relataram aumentos de produção da alface com a utilização de quatro materiais orgânicos diferentes (estrume bem compostado, guano, sementes de soja e sementes de ervilha forrageira), comparativamente à testemunha (sem fertilização orgânica). Hosseny e Ahmed, (2009) também fizeram referência a aumentos de produção na alface com doses crescentes (0, 3 e 6 t) de resíduos agrícolas compostados.

A aplicação de fosfato de Gafsa aumentou significativamente a produção da alface. De igual modo, Kaminski e Peruzzo (1997) referiram para a cultura do milho aumentos de rendimento com aplicações crescentes de fosfato de Gafsa, nas doses de 0, 50 e 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Marvi (2009) corroborou o facto de que níveis crescentes de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0, 37,5, 50, 62,5 e 75 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) aumentaram a produção da alface.

A aplicação de calcário igualmente aumentou a produção de alface. Trani et al. (2006) constatarem efeito positivo sobre a produção de alface e cenoura num ensaio de três anos com aplicações crescentes de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 t ha<sup>-1</sup> no primeiro ano e 4 e 8 t ha<sup>-1</sup> no segundo e terceiro anos).

No presente ensaio verificou-se uma interacção significativa, de primeira ordem, entre o calcário e o fosfato de Gafsa, uma vez que a produção não aumentou com a aplicação de calcário quando se aplicou fosfato de Gafsa, nem aumentou com o fosfato de Gafsa quando se aplicou calcário analisado a média de cada um dos tratamentos (quadro 3.12.), o que poderá ser explicado pela acção da calagem na disponibilidade de P.



Quadro 3.12. Peso fresco (PF) nas folhas de alface para a média de cada um dos tratamentos.

Calcário t ha <sup>-1</sup>	Composto t ha <sup>-1</sup>	Fosfato de Gafsa kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	PF g planta <sup>-1</sup>
0	0	0	57,8
0	0	200	86,1
0	15	0	94,5
0	15	200	134,1
0	30	0	99,1
0	30	200	187,4
8	0	0	88,7
8	0	200	77,3
8	15	0	138,1
8	15	200	139,2
8	30	0	172,0
8	30	200	175,5
MDS ( <i>p</i> < 0,05)			48,1

O solo utilizado nesta experiência (quadro 2.1.) possuía uma reacção ácida, com um valor de pH de 5,8, abaixo do limite inferior de pH recomendável para a cultura de alface (Maynard e Hochmuth, 1997), o que poderá justificar o aumento significativo da produção de alface, para a média de todos os tratamentos, com aplicação de calcário, em comparação com a produção média sem calcário. No entanto, considerando apenas os tratamentos em que se aplicou fosfato de Gafsa, para a mesma dose de Nutrimais, a aplicação de calcário já não resultou em aumentos significativos de produção. Este facto sugere que uma das limitações no crescimento da alface no solo sem calcário poderá ter resultado da diminuição de solubilidade do P devido à acidez do solo, em consequência da precipitação de fosfatos de Al, Fe e Mn (Sample et al., 1980; Varennes, 2003). Sarmento et al. (2002) analisaram a eficiência do fosfato de Gafsa (nas doses de 0, 50, 100 e 200 mg dm<sup>-3</sup> em vasos) associado à calagem e ao momento de aplicação da mesma (antes e depois da aplicação do fosfato de Gafsa) em duas sementeiras de luzerna, com três cortes na segunda. Sarmento et al. (2002) verificaram valores superiores de matéria seca quando a calagem foi executada depois da aplicação do fosfato para as três doses de fosfato. Os mesmos autores observaram, na segunda sementeira, valores superiores de matéria seca quando a calagem foi executada após aplicação do fosfato nas três doses de aplicação para os três cortes, exceptuando na dose de fosfato de 200 mg dm<sup>-3</sup> do primeiro e terceiro corte. Entretanto, Kaminski e Peruzzo (1997), referem uma redução de matéria seca (kg ha<sup>-1</sup>) em azevém

consociado com trevo branco, quando aplicado fosfato de Gafsa na dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> acompanhando as doses crescentes de calcário de 0, 2, 8,5 e 17 t ha<sup>-1</sup>.

O teor de matéria seca diminuiu com a aplicação de nutrientes acompanhando o crescimento da alface, resultado do seu aumento de produtividade.

#### **4.1.2. Absorção de nutrientes**

A acumulação de macronutrientes principais N, P, e K aumentou significativamente nas folhas da alface produzidas com fosfato de Gafsa e com composto. O tratamento com o menor teor de N foi o que não levou qualquer fertilizante, tal como, Manojlovic et al. (2009) concluíram. Por outro lado a aplicação de composto aumentou em média a absorção de N, para o conjunto de tratamentos, em 45 e 94 mg N planta<sup>-1</sup> (figura 3.3.), respectivamente com a aplicação de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, confirmando resultados obtidos por Manojlovic et al. (2009) e Radics et al. (2009).

Apesar de se indicar frequentemente que os compostados disponibilizam poucos nutrientes comparados com os materiais frescos, o composto utilizado nesta experiência, que resultou da compostagem com materiais ricos em N, possuía um elevado teor de N mineral e uma baixa razão C/N, que terão favorecido o crescimento e a absorção de nutrientes pela alface. O teor de N nas alfaces não variou com a aplicação de fosfato ou de Nutrimais, mas aumentou com a aplicação de calcário. Relativamente aos restantes nutrientes, com a excepção do teor de Mg que aumentou com a aplicação de calcário, não se verificaram diferenças significativas na sua concentração entre alfaces produzidas com os diferentes fertilizantes. Assim, a absorção de nutrientes dependeu da acumulação de peso seco, e não de diferenças na concentração dos nutrientes resultantes da aplicação dos fertilizantes, indicando que não se verificou absorção de luxo.

Os indicadores de estabilização dos compostados sugeridos por Zucconi e Bertoldi (1987) (composto com teor de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de 1157 mg/kg MS superior a 400 mg kg<sup>-1</sup>), CCQC (2001) (composto com razão N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1157/687) superior a 1) e Larney e Hao (2007) (composto com razão N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>/N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (1157/687) superior a 0,5) sugerem da falta de maturação do composto usado neste ensaio. Apesar da falta de maturação do composto, este não inibiu o crescimento da alface quando aplicado em doses crescentes, sugerindo que não ocorreu qualquer fenómeno de fitotoxicidade com a aplicação deste correctivo

orgânico, o qual, para além de disponibilizar nutrientes poderá ter contribuído para a melhoria das propriedades físicas do solo.

A aplicação de fosfato de Gafsa aumentou significativamente a acumulação de P nas folhas da alface em 19%, para o conjunto de tratamentos, estando em sintonia com Radics et al. (2009). Este aumento demonstra uma eficiência agronómica do fosfato de Gafsa na disponibilidade de P (Corrêa et al., 2005) e apesar do curto ciclo cultural da alface, houve aumento significativo na acumulação de P, divergindo da ideia veiculada por Lopes (1999) segundo a qual, a eficiência agronómica dos fosfatos naturais é baixa para culturas de ciclo curto ou anuais. Apesar do fabricante deste fertilizante (Fertigafsa), recomendar somente a aplicação em culturas perenes e plurianuais (ADP, 2009), a disponibilidade de P por parte do fosfato de Gafsa pode proporcionar a extensão da recomendação do fosfato de Gafsa às culturas hortícolas. Aparentemente, o P disponibilizado pelo fosfato foi suficiente para as necessidades da alface quando não se aplicou calcário, enquanto nos tratamentos sem fosfato, a correcção da acidez do solo, também terá sido suficiente para as necessidades da alface, já que com calcário a aplicação de fosfato não aumentou a absorção de P. Nestas circunstâncias (com aplicação de calcário) poderá, também, ter ocorrido a precipitação de parte do P aplicado, na forma de fosfatos de cálcio. Daqui se conclui que a recomendação de fertilização em P deve depender do pH do solo e da recomendação de correcção da acidez do solo (Santos, 2002; Amer et al., 1991, Sample et al., 1980). Por outro lado, é relevante o facto de o solo utilizado no ensaio da alface possuir  $132 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (quadro 2.1.) (valor com apreciação de Alto (Santos, 2002)), o que certamente terá contribuído para disponibilizar P para a alface (quadro 1.5.).

O K foi o nutriente mais absorvido pelas folhas de alface o que confirma os valores exportados pela cultura (Almeida, 2006), corroborando a forte exigência da cultura neste elemento (Maroto, 2000), pode ser justificada pelo teor de K no solo utilizado ( $383 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Igualmente a acumulação de K pode dever-se ao facto de existir maior disponibilidade deste elemento no composto, donde Wen et al. (1997) referem que o K está igualmente disponível no composto e nos fertilizantes de síntese pois não depende da mineralização de MO para estar disponível.

As exigências nutricionais da alface obedeceram à sequência na ordem decrescente  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Fe}$ , corroborado por Faquin e Andrade (2004). Os teores de nutrientes estudados (quadro 3.1.) estão abaixo da faixa de intervalo proposto por Silva (1999) para a

cultura da alface ( $\text{g kg}^{-1}$ ): (i) N: 30-50; (ii) P: 4-7; (iii) K: 50-80; (iv) Ca: 15-25; (v) Mg: 4-6; (vi) Fe: 0,05-0,15.

#### **4.1.3. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes**

Neste estudo ocorreu uma pequena variação na razão N/P na planta, a qual, variou entre 7-8 nas raízes e 8-10 nas folhas, não tendo variado significativamente com a aplicação de fosfato de Gafsa ou de composto. Esta pequena variação da razão N/P na planta justifica-se uma vez que a absorção de P, mais do que da sua disponibilidade no solo depende das necessidades das plantas, designadamente em função do N absorvido para a constituição das proteínas.

A razão entre o teor de N e os outros nutrientes analisados nas folhas da alface revelou valores de 2-3 para a razão N/Ca e de 6-7 para o Mg, donde apenas a razão N/K foi inferior a 1.

Num trabalho com três variedades de alface Grangeiro et al. (2006) encontraram os seguintes valores acumulados para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente para as três variedades de alface ( $\text{g planta}^{-1}$ ): 0,30, 0,24 e 0,20 (N); 0,17, 0,11 e 0,11 (P); 0,45, 0,35 e 0,33 (K); 0,063, 0,054 e 0,054 (Ca); 0,14, 0,10 e 0,11 (Mg). Calculando os valores encontrados por Grangeiro et al. (2006), as razões N/P, N/K, N/Ca e N/Mg são respectivamente para as três variedades de: 2, 2 e 2; 1, 1 e 1; 5, 4, e 4; 2, 2 e 2. Os ratios encontrados nas folhas de alface por Grangeiro et al. (2006) diferem substancialmente deste trabalho nas razões N/P (variaram entre 8 e 10), N/Ca (variaram entre 2 e 3) e N/Mg (variaram entre 7 e 6) (quadro 3.3.).

#### **4.1.4. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes**

A concentração dos nutrientes nas folhas foi sempre superior à sua concentração nas raízes. Os teores de N e de P duplicaram nas folhas em relação às raízes, os teores de K e Ca foram aproximadamente cinco vezes superiores nas folhas enquanto os teores de Mg e Fe aumentaram, respectivamente entre três e quatro vezes. A razão N/P foi superior nas folhas em comparação com as raízes, mas a razão entre o teor de N e o teor de qualquer dos restantes nutrientes foi superior nas raízes. Estes factos revelam que a distribuição dos nutrientes entre as folhas e as raízes se realizou em benefício das folhas, mas com menor expressão para o P do que para os restantes nutrientes.

#### **4.1.5. Taxa de mineralização**

O aumento médio na acumulação de N na alface com 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, em comparação com 0 t ha<sup>-1</sup>, correspondeu a respectivamente a 45 e 94 mg N planta<sup>-1</sup>. Sendo este aumento da absorção de N, inferior aos somatórios do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> existente no composto, nas doses de composto aplicadas de 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, que correspondem respectivamente a 120 e 240 mg N mineral/planta. Estes resultados sugerem que nos tratamentos com composto o crescimento da alface não terá sido limitado pela disponibilidade de N mineral existente no composto para cada dose aplicada. Considerando que o N mineral contido no composto foi superior á diferença entre a acumulação de N na alface com o compostado e a alface testemunha (sem fertilizantes), não foi possível estimar a mineralização do N orgânico durante o período em que decorreu o ensaio.

#### **4.2. Ensaio da couve repolho**

##### **4.2.1. Peso fresco da couve repolho**

O peso fresco da couve repolho aumentou com a aplicação de doses crescentes de composto, de fosfato de Gafsa e de calcário significativamente para o conjunto de tratamentos.

O tratamento com melhor produção foi o que se aplicou 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> de fosfato de Gafsa, 30 t ha<sup>-1</sup> de composto e com 8 t ha<sup>-1</sup> de calcário correspondendo a uma produção de 16,18 t ha<sup>-1</sup>. Esta produção é inferior às referidas por Almeida (2006) e MADRP/INIAP (2005) o que se explica pela dificuldade em produzir plantas como a couve em vaso, com a mesma dimensão com que se produzem no campo.

A aplicação de doses crescentes do composto usado neste ensaio, aumentou a produção de couve repolho significativamente, o que está de acordo com resultados obtidos por outros autores. Venter e Ftriz (1979), registaram aumentos de produção em couve rábano com aumentos de aplicação de N (0, 100 e 200 kg ha<sup>-1</sup>) e Westerveld et al. (2003) referiram igualmente aumentos de produção de couve repolho com aumentos crescentes de aplicação de N (0, 85, 170, 255 e 340 kg ha<sup>-1</sup>). Pradhan et al. (2007), verificaram um crescimento total de couve repolho com aplicação de urina humana tratada, na dose total de aplicação de 180 kg N ha<sup>-1</sup>, repartida por 6 aplicações ao longo do ciclo cultural das plantas nas doses respectivas de 1,4, 1,6, 2,0, 2,0, 2,0, e 1,9 L/planta, superior à testemunha (sem

fertilização). Ouda e Mahadeen (2008) utilizaram uma mistura de três estrumes (aviário, ovino e de bovino) numa razão 1:1:1, na fertilização de couve brócolo nas doses de 0, 40, 60 e 80 t ha<sup>-1</sup>, e referiram aumentos de peso fresco com o incremento das doses de aplicação de estrume. Sousa et al. (2008) e Rodrigues et al. (2009) relataram aumentos de peso fresco em couve tronchuda, comparativamente ao tratamento sem fertilização, com aplicação de um fertilizante orgânico autorizado em AB, no entanto com produção inferior à adubação convencional (Sousa et al., 2008), e não significativo em comparação com tratamento testemunha (Rodrigues et al., 2009). Neata et al. (2009), num trabalho em couve repolho em AB, com aplicação de estrume de bovino (20, 40 e 60 t ha<sup>-1</sup>) e de estrume de aves (10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup>), registaram aumentos significativos de produção com aplicações crescentes de ambos os materiais orgânicos em comparação com tratamento testemunha. Moreira et al. (2011) verificaram igualmente aumentos do peso fresco de repolho com aplicação de ureia nas doses de aplicação de 0, 75, 150, 300 e 450 kg ha<sup>-1</sup> de N.

A aplicação de fosfato de Gafsa aumentou significativamente a produção da couve repolho, como verificaram Kaminski e Peruzzo (1997) e Marvi (2009). Soares et al. (2000) referem um aumento de peso seco de pastagem (*Brachiaria decumbens*) referente a corte (60 dias após corte de uniformização da pastagem) com aplicação de fosfato de Gafsa em 100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

A aplicação de calcário aumentou a produção da couve repolho, tal como se verificou em trabalhos anteriores, como relata Trani et al. 2006.

O solo utilizado no ensaio da couve repolho possuía uma reacção, ligeiramente ácida, com um valor de pH de 6,2, abaixo do limite inferior de pH recomendável para esta cultura (Almeida, 2006), o que justifica o aumento significativo de produção que se verificou para a média de todos os tratamentos com a aplicação de calcário, em comparação com a produção média sem calcário. Este facto sugere que uma das limitações no crescimento da couve repolho, dada a sua reduzida tolerância à acidez, no solo sem calcário poderá ter-se devido ao facto da acidez do solo diminuir a solubilidade de P em consequência da precipitação na forma de fosfatos de alumínio, ferro e manganês porque, quando se aplicou fosfato, a disponibilidade do P aumentou, mas não o suficiente, uma vez que quando se aplicou calcário e fosfato, sem composto, a couve repolho ainda aumentou a produção. Mesmo com a aplicação de composto e de calcário, a resposta da cultura à aplicação de

fosfato foi claramente positiva, apesar da cultura da couve ser geralmente considerada tolerante à baixa disponibilidade de P no solo devido às suas raízes fortemente ramificadas e com longos pelos radiculares (Marschner et al., 2007).

O teor de matéria seca (MS%) diminuiu significativamente com a aplicação de nutrientes à medida do crescimento da couve repolho, traduzido pelo aumento de produtividade da cultura. O teor de nutrientes na couve repolho diminuiu, relativamente à matéria seca, à medida do crescimento da planta, apesar da sua acumulação aumentar, revelando o efeito do crescimento na diluição dos nutrientes por unidade de peso seco.

#### **4.2.2. Absorção de nutrientes**

O teor de N mineral ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ , respectivamente,  $1615 + 103 \text{ mg kg}^{-1} \text{ MS}$ ) no composto poderá explicar o aumento de absorção de N que se verificou com o aumento da sua dose de aplicação. Assim, a aplicação crescente de doses de composto, com o consequente aumento da aplicação de N, aumentou a absorção deste nutriente. Este facto é confirmado pela bibliografia, nomeadamente por Venter e Fritz (1979) em couve rábano. Brito (2001) verificou aumentos de absorção de N em folhas de couve repolho, com aumentos na aplicação de dois compostos numa experiência de vasos (0, 25, 50, 75, e 100 (% v/v) de resíduos sólidos urbanos e lamas provenientes de fábrica de celulose. Já Sousa et al. (2009) concluíram com a utilização de um fertilizante orgânico autorizado para o MPB, comercializado em Portugal, que não disponibilizou N em quantidade relevante durante a estação de crescimento de couve tronchuda, apesar da baixa razão C/N do fertilizante orgânico. Ouda e Mahadeen (2008), revelaram percentagens de teores de N significativamente superiores com a aplicação de fertilizante orgânico (mistura de materiais à razão de 1.1:1 de estrume de aves, ovelha e bovino) em couve brócolo. Moreira et al., (2011) referiram aumentos do teor de N com o aumento das doses de N em couve repolho. Sturma et al. (2010) analisaram o teor de N das folhas exteriores, médias e interiores da couve repolho produzida com diferentes técnicas de fertilização e irrigação, 59, 68 e 78 dias após a transplantação. Os resultados obtidos no presente estudo (87 dias após a transplantação) referentes ao teor de N na couve são próximos dos reportados por Sturma et al. (2010) para as folhas interiores e do meio no dia 59 após a transplantação, mas inferiores ao teor de N das folhas exteriores. De acordo com aqueles autores, o teor de N de uma forma geral diminuiu com o crescimento das couves até aos 78 dias após a transplantação. You & Ro (2010) num estudo de vasos com couve chinesa e a aplicação de

um composto de estrume de suínos com serrim, em doses crescentes até 15 g N planta<sup>-1</sup>, concluíram que havia uma relação linear entre o N do composto e o N absorvido pelas plantas que se podia expressar por uma equação linear ( $y=0,076x+719$  com  $x = \text{N aplicado planta}^{-1}$  e  $y = \text{N absorvido planta}^{-1}$ ). Considerando que as doses de N aplicadas por tratamento neste estudo foram 0, 6,1 e 12,2 mg N consoante a dose de aplicação do composto correspondente a 0, 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>, e aplicando aquela equação, resultaria respectivamente uma absorção de 719, 1181 e 1643 mg N para as couves produzidas com as doses crescentes de composto. Aqueles valores seriam próximos dos valores médios de absorção de N (625, 1198 e 1343 mg) pelas couves produzidas neste estudo conduzido por You e Ro (2010).

Os teores de nutrientes analisados neste ensaio, nas folhas de couve repolho são comparáveis aos teores reportados por Citak e Sonmez (2010) onde foram avaliados os teores de nutrientes em couve repolho cultivada em MPB, na Primavera e no Outono, em diferentes tratamentos resultantes da aplicação de estrume de bovino, estrume de aves e farinha de sangue, e obtiveram teores percentuais de N, P, K respectivamente na cultura de Primavera e Outono de 2,8 e 2,9%, 0,32 e 0,26% e de 3,2 e 2,4%. Enquanto no presente estudo o teor médio de N (2,8%) nas couves de todos os tratamentos foi precisamente igual à cultura de Primavera referida por Citak e Sonmez (2010), o teor médio de P (0,37%), neste ensaio, foi ligeiramente superior a ambas as culturas e o teor de K (2,9%) neste ensaio, foi inferior ao da cultura de Primavera mas superior ao da cultura de Outono. Pelo contrário, os teores de Ca e Mg (0,68-0,75% para o Ca e 0,14-0,16% para o Mg), nas experiências de Citak e Sonmez (2010) foram inferiores em comparação com as obtidas neste presente estudo. Num trabalho conduzido na Primavera durante três anos consecutivos.

Por um lado, pode-se concluir que as acumulações de P e K foram influenciadas pelos teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O do solo utilizado no ensaio da couve repolho, respectivamente 220 e 179 mg kg<sup>-1</sup>, teores classificados como muito alto e alto (Santos, 2002). A aplicação de composto disponibilizou K, dado a riqueza dos compostos neste nutriente. Sendo o P um nutriente essencial que é frequentemente adicionado ao solo para aumentar a produção vegetal (Sims et al., 2000), designadamente em solos ácidos onde a disponibilidade do P diminui. Quando o teor de P disponível é baixo, a biomassa microbiana e as raízes poderão aumentar a produção de fosfatases responsáveis pela mineralização de P (Chabot et al.,



1996). Por outro lado, porventura mais do que da disponibilidade, a absorção de P depende das necessidades das plantas, designadamente em função do N absorvido, para a constituição das proteínas.

O teor de  $\text{N-NH}_4^+$  do composto foi muito superior ao teor limite de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  sugerido como indicador de estabilização dos compostados por Zucconi e Bertoldi (1987). De igual modo, a razão  $\text{N-NH}_4^+/\text{N-NO}_3^-$  do composto utilizado é de 15,6, valor superior aos máximos recomendados de 0,5 (CCQC, 2001) e de 1 (Larney e Hao, 2007), revelando que o composto não estava suficientemente maturado. Contudo, o crescimento da couve repolho não foi inibido com as doses crescentes de composto, o que sugere que não ocorreu qualquer fenómeno de fitotoxicidade com a aplicação deste fertilizante orgânico, o qual, para além de disponibilizar nutrientes poderá ter contribuído para a melhoria das propriedades físicas e biológicas do solo.

Apesar de se indicar frequentemente que os compostados disponibilizam poucos nutrientes comparados com os materiais frescos, este composto, que resultou da compostagem com materiais ricos em N total, possuía um elevado teor de N mineral e baixa razão C/N que terão favorecido o crescimento e a absorção de nutrientes pela couve repolho.

A sequência das exigências nutritivas no ensaio da couve foi  $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{P} > \text{Mg} > \text{Fe}$ , algo diferente da defendida por Faquin e Andrade (2004) ( $\text{K} > \text{N} > \text{Ca} > \text{Mg} > \text{P} > \text{Fe}$  para a generalidade das culturas hortícolas). Os teores de nutrientes nas folhas (quadro 3.6.) ficaram de algum modo abaixo do intervalo das faixas de teores propostos por Silva (1999) para a cultura da couve repolho ( $\text{g kg}^{-1}$ ): (i) N: 35-50; (ii) P: 4-7; (iii) K: 30-50; (iv) Ca: 15-30; (v) Mg: 4-7; (vi) Fe: 0,04-0,20. No entanto, os tratamentos com aplicação de composto (quadro 3.6.) obtiveram teores de N que estão entre o intervalo defendido por Trany e Rajj (1996) para o teor de N nas folhas da couve repolho ( $30\text{-}50 \text{ g kg}^{-1}$ ).

#### **4.2.3. Razão entre o teor de N e dos outros nutrientes**

Neste estudo a variação N/P variou entre 3-6 nas raízes e 6-9 nas folhas não havendo alterações significativas com a aplicação de fosfato de Gafsa ou de composto. A absorção de P depende das necessidades das plantas (provavelmente mais do que da disponibilidade deste nutriente no solo) mas especialmente em função da absorção de N, para a constituição de proteínas, o que justifica que ocorram pequenas variações no ratio N/P.

A aplicação de calcário e de composto, ao contrário da aplicação de fosfato de Gafsa, aumentaram a razão N/P nas folhas enquanto nas raízes esta razão apenas aumentou com a

aplicação de composto. Estes resultados sugerem que a razão N/P aumenta com o aumento de produtividade da couve, sendo sempre superior nas folhas da couve do que no composto, podendo, assim, resultar na acumulação de P no solo quando este tipo de composto é aplicado com base nas necessidades da cultura em N.

A razão entre o teor de N e o teor dos outros nutrientes analisados nas folhas da couve revela valores de 2 para o N/Ca, e de 8-13 para o N/Mg. Apenas o ratio N/K é igual ou inferior a 1. O mesmo não acontece nas raízes que possuem teores de K inferiores aos das folhas.

Num trabalho em couve repolho fertilizada com material orgânico de aviário, antecedida de uma leguminosa ou pela vegetação espontânea, Oliveira et al. (2003) acharam nas folhas da couve repolho, os seguintes valores acumulados para N, P, K, Ca e Mg, respectivamente para a antecedência de leguminosa e vegetação espontânea ( $\text{kg ha}^{-1}$ ): 116,32 e 42,70 (N); 20,25 e 4,36 (P); 106,87 e 14,50 (K); 69,52 e 27,10 (Ca); 28,75 e 11,40 (Mg). Calculando os valores encontrados por Oliveira et al. (2003), as razões N/P, N/K, N/Ca e N/Mg são respectivamente para as duas variantes que antecederam a couve repolho: 6 e 10; 0,2 e 0,3; 2 e 1; 2 e 2. Os ratios encontrados por Oliveira et al. (2003) diferem substancialmente deste trabalho nas razões N/Mg (variaram entre 8 e 13), enquanto nas razões N/P, N/K e N/Ca os valores encontrados (quadro 3.8.) neste trabalho não diferem dos valores encontrados por Oliveira et al. (2003).

#### **4.2.4. Razão entre teores de nutrientes nas folhas e nas raízes**

Wilson (1987) afirma que em condições de deficiência de N, grande parte do N absorvido, é usado pelo sistema radicular das plantas para o crescimento das raízes, provocando uma diminuição do ratio folhas/raízes e acrescentou que a deficiência de outros minerais e de água provoca o mesmo efeito. A aplicação dos fertilizantes usados neste ensaio disponibilizou nutrientes à planta, justificando os aumentos do PF e dos teores de nutrientes estudados no trabalho, donde a razão entre os teores de nutrientes nas folhas e nas raízes se deu em benefício das folhas. A exceção foi o teor de Ca com a adição de composto e de calcário evidenciando o carácter pouco móvel deste elemento (Santos, 2002), em comparação com a grande mobilidade de N (figura 3.13.) uma vez que com a aplicação de composto e de calcário o teor de Ca se deu em favor das raízes.

#### **4.2.5. Taxa de mineralização**

O teor de N mineral do composto quando aplicado na dose de 30 t ha<sup>-1</sup> foi suficiente para satisfazer as necessidades de N da couve repolho. No entanto, com a aplicação de 15 t ha<sup>-1</sup> houve necessidade da cultura recorrer ao N mineralizado proveniente do composto (em 2,8%), já que o N mineral do mesmo não foi suficiente para satisfazer a necessidade em N para a couve repolho usada neste ensaio. Eghball et al. (2002) afirmaram que a taxa de mineralização de materiais compostados é inferior à taxa de mineralização de materiais não compostados e o N restante dos materiais compostados mais estável e menos sujeito à mineralização.

## **5. CONCLUSÕES**

Do presente trabalho podem tirar-se as seguintes conclusões respectivamente para o ensaio da cultura da alface e para o ensaio da cultura da couve repolho.

### **5.1. Cultura da alface**

As doses crescentes de Nutrimais aumentaram substancialmente a produtividade da alface em consequência do elevado teor de N mineral existente neste compostado. Como se verificou uma interacção negativa entre o calcário e o fosfato, apesar de estes fertilizantes (para a média do conjunto dos tratamentos) terem aumentado a produção da alface, isso não se verificou para cada dose de um dos fertilizantes independentemente da dose do outro fertilizante. Assim, o fosfato na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> aumentou a produção de alface apenas quando não se aplicou calcário, enquanto a calagem aumentou a produção apenas quando não se aplicou fosfato. Estes resultados explicam-se pelo efeito da calagem na disponibilidade de P em solos ácidos. Considerando que a aplicação destes fertilizantes contribuiu para aumentar a absorção de nutrientes e a produtividade da alface, recomenda-se a aplicação de Nutrimais para a cultura de alface no MPB, devendo a recomendação da fertilização fosfatada depender da recomendação da calagem, para além das características do solo, designadamente do seu teor em fósforo disponível.

### **5.2. Cultura da couve repolho**

O peso fresco das folhas de couve repolho aumentou com a aplicação de qualquer dos fertilizantes: calcário, fosfato de Gafsa e composto. Apesar do composto não estar suficientemente maturado, este não inibiu o crescimento da couve repolho. Pelo contrário, os aumentos mais significativos de produção verificaram-se com a aplicação das doses crescentes (entre 0, 15 e 30 t ha<sup>-1</sup>) de composto, provavelmente em consequência do seu elevado teor de N mineral. O efeito do calcário e do fosfato na produção de couve foi mais evidente quando não se aplicou composto.

O teor de N na couve aumentou significativamente com a aplicação de fosfato e de calcário, e com as doses crescentes de composto. Relativamente aos restantes nutrientes, a aplicação de fosfato aumentou significativamente o teor de P e o calcário aumentou o teor de Ca nas folhas. Uma das limitações no crescimento da couve repolho no solo sem calcário poderá ter-se devido ao facto da acidez do solo diminuir a solubilidade do P. No

entanto, mesmo com aplicação de calcário, a resposta da couve à aplicação de fosfato foi claramente positiva. A acumulação de N nas folhas aumentou com a aplicação de todos os fertilizantes enquanto a acumulação de P e K aumentou apenas com a aplicação de fosfato e com a aplicação de composto apenas até 15 t ha<sup>-1</sup>.

A razão N/P aumentou com o aumento de produtividade da couve, sendo sempre superior nas folhas da couve do que no composto, podendo, assim, resultar na acumulação de P no solo quando este tipo de composto é aplicado com base nas necessidades da cultura em N.

O teor de nutrientes foi mais elevado nas folhas do que nas raízes excepto para o Mg e o Fe. A distribuição do N, P, K e Ca entre as folhas e as raízes foi realizada em benefício das folhas, mas em menor expressão para o P e o Ca em comparação com o N e o K. A aplicação destes fertilizantes deve ser recomendada para aumentar a absorção de nutrientes e a produtividade da couve repolho.

O aumento da área de produção e consequente aumento da oferta de produtos agrícolas produzidos de acordo com o MPB tem sido acompanhado com o aumento, no mercado, da oferta de factores de produção para os produtores biológicos, nomeadamente de fertilizantes ou correctivos orgânicos. A preponderância da fertilização na optimização e melhoria da produção biológica impõe a necessidade da continuação da realização de experimentação de campo no sentido de aferir da eficácia desses correctivos orgânicos na libertação e disponibilidade de nutrientes nomeadamente na libertação de N para as culturas. Do mesmo modo, devem ser experimentados os compostados produzidos na própria exploração (em explorações no MPB com componente pecuária), no sentido de auxiliar o produtor biológico, até por razões económicas, a tirar o melhor partido dos materiais orgânicos que tem ao seu dispor na própria exploração e utiliza-los de forma mais adequada e ajustada às necessidades culturais.

## BIBLIOGRAFIA

- Addiscott, T. M., Benjamin, N. 2004. Nitrate and human health. *Soil use manage*, 20: 98-104.
- ADP. 2009. Catálogo de fertilizantes da ADP Fertilizantes S. A. Alverca do Ribatejo.
- Agehara, S., Warncke, D. D. 2005. Soil moisture and temperature affects on nitrogen release from organic nitrogen sources. *Soil Science Society of America Journal* 69 (6): 1844-1855.
- Agroquisa. 2009. Manual técnico de produtos fitofarmacêuticos, adubos, sementes, substratos e produtos veterinários, Lisboa.
- Almeida, D. 2006. Manual de culturas hortícolas. Volume I, Editorial Presença, Lisboa, 346 pp.
- Ambus, P., Kure, L. K., Jensen, E. S. 2002. Gross N transformation after application of household compost and domestic sewage sludge on agricultural soils. *Agronomie* 22: 723-730.
- Amer, F., Saleh, M. E., Mostafa, H. E. 1991. Phosphate behaviour in submerged calcareous soils. *Soil Sci* 151: 306-311.
- Amlinger, F., Gotz, B., Dreher, P., Gestzi, J., Weissteiner, C. 2003. Nitrogen in biowaste compost: dynamics of mobilization and availability- a review. *European Journal of Soil Biology*, 39: 117-116.
- Awny, S. A., Moursy, M. M. 1992. Lettuce and endive plant foliage chemical constituents and nitrate residues as affected by different levels of ammonium nitrate fertilizer at sandy soils. *Bull of Suez Canal Univ. Appl. Sci.*, 1: 515-528.
- Bakr, A. A., Gawish, R. A. 1997. Trials to reduce nitrate and oxalate content in some leafy vegetables. 2. Interactive effects of the manipulating of the soil nutrient supply, different blanching media and preservation methods followed by cooking process. *J. sci. Food Agric.* 73, 169-178.
- Barker, A.V. 1975. Organic vs. inorganic nutrition and horticultural crop quality. *Hort. Science* 10: 50-53.
- Barrote, I. 2009. Produção em agricultura biológica versus produção em agricultura convencional – culturas Primavera-Verão ano 1-2009. DRAPN – Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte, 13 pp.
- Barrote, I. 2010. Produção em agricultura biológica versus produção em agricultura convencional – culturas Primavera-Verão ano 1-2009. DRAPN – Direcção Regional de Agricultura e Pescas do Norte, 11 pp.
- Bayu, W., Rethman, N.F.G., Hammes, P.S., Alemu, G. 2006. Application of farmyard manure improved the chemical and physical properties of the soil in a semi-arid area in Ethiopia. *Biological Agriculture and Horticulture*, 24: 293-300.
- Benbi, D. K., Biswas, C. R., Bawa, S. S., Kumar, K. 1998. Influence of farmyard manure, inorganic fertilizers and weed control practices on some soil physical properties in a long-term experiment. *Soil Use and Management*, 14: 52-54.

- Berntsen, J., Grant, R., Olesen, J. E., Kristensen, I. S., Vinther, F. P., Mølgaard, J. P., Petersen, B. M. 2006. Nitrogen cycling in organic farming systems with rotational grass-clover and arable crops. *Soil Use Manage* 22: 197–208.
- Berry, P. M., Sylvester-Bradley, R., Philipps, L., Hatch, D. J., Cuttle, S. P., Rayns, F. W., Gosling, P. 2002. Is the productivity of organic farms restricted by the supply of available nitrogen? *Soil Use and Management*. 18: 248-255.
- Black, C. A. 1968. *Soil-plant relationships*. New York, USA, John Wiley and Sons.
- Blanke, V., Renker, C., Wagner, M., Füllner, K., Held, M., Kuhn, A. J., Buscot, F. 2005. Nitrogen supply affects arbuscular mycorrhizal colonization of *Artemisia vulgaris* in a phosphate-polluted field site. *New Phytol* 166: 981–992.
- Blanke, V., Wagner, M., Renker, C., Lippert, H., Michulitz, M., Kuhn, A. J., Buscot, F. 2011. Arbuscular mycorrhizas in phosphate-polluted soil: interrelations between root colonization and nitrogen. *Plant Soil*, 343: 379-392.
- Bloom, A. J., Chapin, F. S., Mooney, H. A. 1985 Resource limitation in plants—an economic analogy. *Ann Rev Ecol Syst* 16: 363–392.
- Boswell, F. C., Meisinger, J. J., Case, N. L. 1985. Production, marketing, and use of nitrogen fertilizers. In: Engelstad, O. P. (Ed.). *Fertilizer Technology and Use*. 3<sup>a</sup> ed., Soil Science Society of America, Wisconsin, 229-292.
- Brady, N. C. 1990. *The nature and property of soils*, 10th edn. MacMillan, New York.
- Brandt, K., Mølgaard, J. P. 2001. Organic agriculture: does it enhance or reduce the nutritional value of plant foods? *J. Sci. Food Agric*. 81: 924–931.
- Brito, L. M. 2001. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) growth in soil mixed municipal solid waste compost and paper mill sludge composted with bark. *Acta Horticulturae*, 563: 131-137.
- Brito, L. M. 2003. *Manual de compostagem*. ESAPL/IPVC – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 26 pp.
- Brito, L., 2005. Dinâmica do azoto na compostagem e após a aplicação dos compostos ao solo. *Actas Portuguesas de Horticultura*, 7: 229-234.
- Brito, M. 2006. Compostagem para a Agricultura Biológica. In: *Manual de Agricultura Biológica – Terras de Bouro*. Mourão, I., Araújo, J. P., Brito, M. (Eds.). Município de Terras de Bouro. Cap. III, 119- 137.
- Brito, L. M. 2007. Fertilidade do solo, compostagem e fertilização. In: *Manual de Horticultura no Modo de Produção Biológico*. Mourão, I. M. (Ed). Projecto PO AGRO DE&D – 747. ESAPL / IPVC, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima / Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 53-86.
- Cameria, C., Cainavarro, E., Saltao, B., Moreira, J., Monteriro, A. A., Vasconcelos, E. P. 2000. Yield and leaf nitrate content of lettuce on response to nitrogen fertilization. Xth International colloquium for the optimization of plant nutrition. Cairo, Egypt.
- Cantarero, I. L., Ruiz, J. M., Hernandez, J., Romero, L. 1997. Nitrogen metabolism and yield response to increases in nitrogen-phosphorus fertilization: improvement in greenhouse cultivation of eggplant (*Solanum melongena* cv. Bonica). *J. Agric. Food Chem*. 45: 4227–4231.

- Cantliffe, D. J. 1973. Nitrate accumulation in table beets and spinach as affected by nitrogen, phosphorous, and potassium nutrition and light intensity. *Agronomy Journal* 65: 563-565.
- Carneiro, J. P., Branco, S., Coutinho, J., Trindade, H. 2007. Mineralização de azoto de diferentes resíduos orgânicos em incubação laboratorial de longa duração. *Revista de Ciências Agrárias*, vol.30, no.2, 159-173.
- Carpenter-Boggs, L., Kennedy, A. C., Reganold, J. P. 2000. Organic and biodynamic management: Effects on soil biology. *Soil Science Society America Journal*, 64: 1651-1659.
- CCQC. 2001. Compost Maturity Index. California Compost Quality Council. Technical Report. 26 pp.
- CE. 2007. Regulamento (CE) Nº 834/2007 do Conselho, de 28 de Junho, relativo à produção biológica.
- CEN. 1999. European Standards – Soil Improvers and Growing Media. European Committee for Standardization.
- Chapin, F. S., Schulze, E.-D., Mooney, H. A. 1990. The ecology and economics of storage in plants. *Ann Rev Ecol Syst* 21: 423–447.
- Chirinda, N., Olesen, J. E., Porter, J. R. 2008. Effects of organic matter input on soil microbial properties and crop yields in conventional and organic cropping systems. 16<sup>th</sup> IFOAM Organic World Congress, June 16-20, Modena, Italy, 4.
- Christensen, B. T. 1996. The Askov long-term experiments on animal manure and mineral fertilizers. In: Powlson, D. S., Smith, P., Smith, J. U. (Eds.). *Evaluation of soil organic matter models using existing long-term datasets*. Springer, Berlin, 301–312.
- Christian, D. G., Goodlass, G., Powlson, D. S. 1992. Nitrogen uptake by cover crops. *Aspects of Applied Biology* 30, Nitrate and Farming Systems. AAB c/o HRI, Wellesbourne Warwick, UK, 291-300.
- Citak, S., Sonmez, S. 2010. Influence of Organic and Conventional Growing Conditions on the Nutrient Contents of White Head Cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata*) during Two Successive Seasons. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 58: 1788–1793.
- Clark, M. S., Horwath, W. R., Shennan, C., Scow, K. M. 1998. Changes in soil chemical properties resulting from organic and low-input farming practices. *Agron. J.* 90: 662–671.
- Clark, M. S., Horwath, W. R., Shennan, C., Scow, K. M., Lantini, W. T., Ferris, H. 1999. Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 73: 257-270.
- Cordovil, C. M. S. 2004. Dinâmica do azoto na reciclagem de resíduos orgânicos aplicados ao solo. Instituto do Ambiente, Alfragide. 56 pp.
- Corrêa, R. M., Nascimento, C. W. A., Sosza, S. K., Freire, F. J., Silva, G. B. 2005. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. *Science Agriculture* 62 (2): 159-164.
- Coutinho, J. 2007. A aplicação de compostados ao solo. In: *Compostagem da fracção sólida dos chorumes de explorações pecuárias leiteiras com fins agrónómicos e*



- ambientais. Brito, L. M. (Ed.). Programa AGRO 8, Acção 1 – Projecto 794, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima/IPVC, Ponte de Lima, 39-47.
- Crespo, D. G. 2005. Melhoramento de pastagens no montado. Gestão ambiental e económica do ecossistema montado: ponencias y comunicaciones presentadas nas Jornadas Técnicas celebradas en el Centro de Investigación Agrária Finca La Orden. Guadajira, Badajoz: Consejería de Infraestructuras y Desarrollo Tecnológico. Junta de Extremadura, 155-164.
- Custic, M., Poliak, M., Cosic, T. 1994. Nitrate content in leaf vegetables as related to nitrogen fertilization in Croatia. *Acta Horticultrae*, 371: 407-412.
- DeLuca, T. H., DeLuca, D. K. 1997. Composting for feedlot manure management and soil quality. *J. Prod. Agric.* 10: 235– 241.
- DGA. 2000. Relatório do estado do ambiente 1999. Direcção Geral do Ambiente, 213-232.
- DGADR / DSPFSV. 2009. Guia dos produtos fitofarmacêuticos em modo de produção biológico. Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural / Direcção de Serviços de Produtos fitofarmacêuticos e de Sanidade Vegetal, Lisboa, 47 pp.
- Eghball, B. 2002. Soil properties as influence by phosphorus- and nitrogen-based manure and compost applications. *Agronomy Journal*, 94: 128-135.
- Eghball, B., Wienhold, B. J., Gilley, J. E., Eigenberg, R. A. 2002. Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Wat. Conserv.* 57 (6): 470-473.
- Elser, J. J., Dobberfuhl, D. R., MacKay, N. A., Schampel, J. H. 1996. Organism size, life history, and N:P stoichiometry: toward a unified view of cellular and ecosystem processes. *Bioscience*, 46: 674– 684.
- Faquin, V., Andrade, A. T. 2004. Produção de hortaliças – nutrição mineral e diagnose do estado nutricional das hortaliças. UFLA – Universidade Federal Lavras/FAEPE – Federação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão, Editora UFLA/FAEPE, Lavras, 88 pp.
- Ferreira, J. (Coord.) 2009a. As bases da agricultura biológica – Tomo I – Produção vegetal. EDIBIO Edições, 531 pp.
- Ferreira, J. 2009b. Guia dos factores de produção para a agricultura biológica 2009/2010. Agro-Sanus, 3ª Edição, 51 pp.
- Finstein, M. S., Miller, F. C. 1985. Principles of composting leading to maximization of the decomposition rate, odour control, and cost effectiveness. In: *Composting of agricultural and other wastes*. Gasser, J. K. R. (Ed.). Elsevier Applied Science. London and N. York, 13-26.
- Flavel, T. C., Murphy, D. V. 2006. Carbon and nitrogen mineralization rates after application of organic amendments to Soil. *J. Environ. Qual.*, 35: 183-193.
- Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., Mader, P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118: 273-284.
- Freitas, F. C. 1984. Acidez e alcalinidade dos solos. Comissão Nacional do Ambiente / Estação Agronómica Nacional, Lisboa, 22 pp.

- Gabrielle, B., Da-Silveira, J., Houot, S., Francou, C. 2004. Simulating urban waste compost effects on carbon and nitrogen dynamics using a biochemical index. *Journal Environmental Quality* 33: 2333–2342.
- Gajdos, R. 1992. The use of organic waste materials as organic fertilizers – Recycling of plant nutrients. *Composting, use of wastes, Acta Horticulturae*, 302: 325-331.
- Gaofer, G.E., Zhaojun, L.I., Fenliang, F., Guixin, C., Zhenan, H., Yongchao, L. 2009. Soil biological activity and their seasonal variations in response to long-term application of organic and inorganic fertilizers. *Plant and Soil*, 326: 1-2.
- Gawish, R. A. 1997. Trials to reduce nitrate and oxalate contents in some leafy vegetables. 1. Interactive effect of different nitrogen fertilization regimes and nitrification inhibitor (Nitrapyrin) on growth and yield of both spinach and lettuce. *Zagazig J. Agric.* 24(1): 83-100.
- Gay, S. W., Knowlton, K. F. 2009. Ammonia emissions and animal agriculture. *Communications and Marketing*, College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia Cooperative Extension, Publication, 442-110.
- Gerke, J., Meyer, U., 1995. Phosphate acquisition by red clover and black mustard on a humic podsol. *Journal of Plant Nutrition*, 18: 2409–2429.
- Goedert, W. J., Sousa, D. M. G. 1984. Uso eficiente dos fertilizantes fosfatados. In: *Simpósio sobre fertilizantes na agricultura brasileira*, Brasília, Anais.Brasília: EMBRAPA, 206-255.
- Gonçalves, M. S., Baptista, M. 2001. Proposta de Regulamentação sobre Qualidade do Composto para Utilização na Agricultura. *Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva*, INIA, MADRP, Portugal.
- Gonçalves, M. S. 2005. *Gestão de Resíduos Orgânicos*, Sociedade Portuguesa de Inovação, 1ª edição, Porto, 104 pp.
- Grangeiro, L. C., Costa, K. R., Medeiros, M. A., Salviano, A. M., Negreiros, M. Z., Neto, F. B., Oliveira, S. L. 2006. Acumulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semi-Árido. *Hortic. Bras.*, v. 24, nº2, 190-194.
- Griffin, T. S., Honeycutt, C. W., He, Z. 2002. Effects of temperature, soil water status, and soil type on swine slurry nitrogen transformations. *Biology and Fertility of Soils*, 36: 442–446.
- Hammond, L. L. 1977. Research on direct application of phosphate rock in the Agro-Economic division. IFDC, Florence, Alabama. (Memorandum) 15 pp.
- Handayanto, E., Giller, K. E., Cadisch, G. 1997. Regulating N release from legume tree prunings by mixing residues of different quality. *Soil Biology and Biochemistry*, Amsterdam, v.29, 1417-1426.
- Harada, Y., Ynoko, A., Tadaki, M., Izawa, T. 1981. Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Sci. Plant Nutr.* 27: 356-364.
- Heitkamp, F., Raupp, J., Ludwig, B. 2011. Soil organic matter pools and crop yields as affected by the rate of farmyard manure and use of biodynamic preparations in a sandy soil. *Org. Agr.* 1: 111-124.

- Hoitink, H. A. J., Keener, H. M. 1993. Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects. Renaissance Publications, Worthington, OH.
- Horwath, W. R. 2005. The importance of soil organic matter in the fertility of organic production systems. Western Nutrient Management Conference. Vol. 6. Salt Lake City, Utah, 244-249.
- Hosseney, M. H., Ahmed, M. M. M. 2009. Effect of nitrogen, organic and biofertilization on productivity of lettuce (cv. Romaine) in sandy soil under assuit conditions. Ass. Univ. Bull. Environ. Res. Vol. 12 No. 1, 79-93.
- Hui, Y. H., Ghazala, S., Graham, D. M. 2004. Handbook of Vegetable Preservation and Processing; Marcel Dekker Inc., New York.
- IFOAM. 2008. Definition of Organic Agriculture. IFOAM - International Federation of Organic Agriculture Movements. Vignola, Italy. Disponível em: [http://www.ifoam.org/growing\\_organic/definitions/sdhw/pdf/DOA\\_Portuguese.pdf](http://www.ifoam.org/growing_organic/definitions/sdhw/pdf/DOA_Portuguese.pdf) e [http://www.ifoam.org/about\\_ifoam/pdfs/POA\\_folder\\_portuguese.pdf](http://www.ifoam.org/about_ifoam/pdfs/POA_folder_portuguese.pdf)
- Imas, P., Bar-Yossef, B., Kafkafi, U., Ganmore-Neumann, R. 1997. Phosphate induced carboxylate and proton release by tomato roots. Plant and Soil 191: 35-39.
- INE. 2010. Estatísticas Agrícolas – 2009. Instituto Nacional de Estatística, Lisboa, 125 pp.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001: Contribution of Working Group I, II, III, to the IPCC Third Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland.
- Jann, G. J., Howard, D. H., Salle, A. J. 1959. Method for the determination of completion of composting. Appl. Microbiol. 7: 271-275.
- Jarvis, S. C., Stockdale, E. A., Shepherd, M. A., Powlson, D. S. 1996. Nitrogen mineralization in temperate agricultural soils: processes and measurement. Advances in Agronomy, 57: 187-235.
- Johnston, E., Poulton, P. R., Coleman, K. 2009. Soil Organic Matter: Its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. Advances in Agronomy, 101: 1-57.
- Kaminski, J., Peruzzo, G. 1997. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Boletim técnico nº3, Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Santa Maria, RS, 31 pp.
- Karlen, D. L., Hunt, P. G., Matheny, T.A. 1996. Fertilizer (15) nitrogen recovery by corn, wheat, and cotton grown with and without pre-plant tillage on Norfolk loamy sand. Crop Sci 36: 975-981.
- Kashmanian, R. M., Kluchinski, D., Richard, T. L., Walker, J. M. 2000. Quantities, characteristics, barriers and incentives for use of organic municipal by-products. In: Power, J. F., Dick, W. A. (Eds.). Land Application of Agricultural, Industrial and Municipal By-products. SSSA, Madison, 127-167.
- Kayser, M., Muller, J., Isselstein, J. 2010. Nitrogen management in organic farming: comparison of crop rotation residual effects on yields, N leaching and soil conditions. Nutr Cycl Agroecosyst, 87: 21-31.

- Kessel, J. S. V., Reeves, J. B. 2002. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. *Biology and Fertility of Soils*, 36: 118–123.
- Kochhann, R., Anghinoni, I., Mielniczuck, J. 1982. A Adubação Fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: Oliveira, A. J. de, Lourenço, S., Goedert, W. J. (Ed.). *Adubação fosfatada no Brasil*. EMBRAPA-DID, Brasília, (Documentos 21), 29-60.
- Lampkin, N. 1990. *Organic farming*. Farming Press Books. Ipswich, UK.
- Larney, F. J., Hao, X. 2007. A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresour. Technol.* 98: 3221-3227.
- Laudicina, V. A., Badalucco, L., Palazzolo, E. 2011. Effects of compost input and tillage intensity on soil microbial biomass and activity under Mediterranean conditions. *Biol. Fertil. Soils*, 47: 63-70.
- Lopes, A. S. 1999. Fosfatos naturais. In: Ribeiro, A. C., Guimarães, P. T. G., Alvarez, V. V. H. (Eds.). *Recomendações para o uso de correctivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa MG, 65-66.
- Lorenz, O. A. 1978. Potential nitrate levels in edible plant parts. In: Nielsen, D. R., MacDonald, J. G. (Eds.). *Nitrogen in the environment*, Academic press, 201-219.
- McClellan, G. H., Van Kauwenbergh, S. J. 2007. Depósitos mundiales de fosfatos. In: *Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible*. Zapata, F., Roy R. N. Boletín FAO: Fertilizantes y nutrición vegetal (Edición técnica), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Cap. 2, 11-16.
- Macdonald, A. J., Poulton, P. R., Howe, M.T., Goulding, K.W. T., Powlson, D. S. 2005. The use of cover crops in cereal-based cropping systems to control nitrate leaching in SE England. *Plant and soil*, 273: 355-373.
- MADRP. 1997. Código das boas práticas agrícolas para a protecção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola. Ministério da Agricultura do Desenvolvimento Rural e das Pescas.
- MADRP/INIAP, 2005. Manual de fertilização das culturas. Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas / INIAP – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, 282 pp.
- MADRP/DGADR. 2009. Jornadas sobre protecção do solo – resumo das conclusões. Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas / Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, Oeiras, 5 pp.
- Magalhães, J. C. A. J., Mello, F. A. F., Thomazi, M. D. 1987. Avaliação agronómica de fosfatos naturais com ênfase para solos sob vegetação de cerrado: I. *Revista de Agricultura*, v.62, 61-89.
- Makinde, E.A., Eniola H.T., Fagbola, O. 2009. Effect of organomineral and NPK fertilizers on soil pH, organic matter and micronutrient content in two soil types in Nigeria. *Research on Crops*, 10: 77-85.

- Mamman, E., Ohu, J.O., Crowther, T. 2007. Effects of soil compaction and organic matter on the early growth of maize (*Zea mays*) in a vertisol. *International Agrophysics*, 21: 367-375.
- Manojlovic, Z., Cabilovski, R., Bavec, M. 2009. Organic materials: sources of nitrogen in the organic production of lettuce. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 34: 163-172.
- Maroto, J. V. 2000. *Horticultura herbácea especial*. 4ª Edicion, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 611 pp.
- Marschner, P., Solaiman, Z., Rengel, Z. 2007. Brassica genotypes differ in growth, phosphorus uptake and rhizosphere properties under P-limiting conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, 39: 87-98.
- Marvi, S. P. M. 2009. Effect of nitrogen and phosphorus rates on fertilizer use efficiency in lettuce and spinach. *Journal of Horticulture and Forestry*, 1: 140-147.
- Maynard, D. N., Barker, A. V., Minotti, P. L., Peck, N. H. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy*, 28: 71-118.
- Maynard, D.N., Hochmuth, G. J. 1997. *Knott's handbook for vegetable growers*. John Wiley (Ed.), New York.
- Melero, S., Madejón, E., Ruiz, J. C., Herencia, J. F. 2007. Chemical and biochemical properties of a clay soil under dryland agriculture system as affected by organic fertilization. *Eur J Agron* 26: 327– 334.
- Miranda, F., Fernandes, T. D. 2001. *Manual de boas práticas – alface*. Disqual. AESBUC, Porto. 35 pp.
- Miranda, J. C. C., Miranda, L. N. 2003. Contribuição da micorriza arbuscular na resposta das culturas à calagem adubação fosfatada em solos de cerrado. *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Comunicado Técnico* 89, 3 pp.
- Moreira, M. A., Vidigal, S. M., Sediya, M. A. N., Santos, M. R. 2011. Crescimento e produção de repolho em função de doses de nitrogénio. *Horticultura Brasileira*, 29: 117-121.
- Morel, J. L., Colin, F., Germon, J. G., Godin, P., Juste. C. 1985. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. In: *Composting of agricultural and other wastes*. Gasser, J. K. R. (Ed.). Elsevier Applied Science, London, 56-72.
- Morte, A., Honrubia, M. 2002. Growth response of *Phoenix canariensis* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Palms*. 46 (2): 76-80.
- Mourão, I. 2006. Produção vegetal. In: Mourão, I., Araújo, J. P., Brito, M. (Eds.). *Manual de Agricultura Biológica – Terras de Bouro*. Município de Terras de Bouro, Cap. I, 11-62.
- Mourão, I. M. 2007. O modo de produção biológico. In: *Manual de Horticultura no Modo de Produção Biológico*. Mourão, I. M. (Ed.). Projecto PO AGRO DE&D – 747. ESAPL / IPVC, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima / Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 1-18.

- Muramoto, J. 1999. Comparison of nitrate content in leafy vegetables from organic and conventional farmers in California. Center of Agro ecology and sustainable food system University of California, Santa Cruz, 1-66.
- Myers, R. J. K., Palm, C. A., Cuevas, E., Gunatilleke, I. U. N., Brossard, M. 1994. The synchronization of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: Woomer, P. L., Swift, M. J. (Ed.). The biological management of tropical soil fertility. New York: John Wiley and Sons, Cap. 5, 81-116.
- Neata, G., Campeanu, G. H., Madjar, R., Mitrea, M. 2009. Vegetables cultivated in biological system and their quality. Romanian Biotechnological Letters, Vol. nº14, 4326-4332.
- Nommik, H., Vahtras, K. 1982. Retention and fixation of ammonium and ammonia in soils. In: Stevenson, F. J. (Ed.). Nitrogen in Agricultural Soils. Agronomy, nº 22, 123-171.
- Oliveira, F. L. Rodolfo, G. T. R., Junqueira, R. M., Padovan, M. P., Guerra, J. G. M., Almeida, D. L., Ribeiro, R. L. D. 2003. Uso do pré-cultivo de *Crotalaria juncea* e de doses crescentes de “cama2 de aviário na produção do repolho sob manejo orgânico. Agronomia, vol. 37, nº2, 60-66.
- Oliveira, J., Vasconcelos, C., Costa, M., Cunha, M., Leandro, E., Russo, M. 2009. Avaliação da qualidade de correctivos orgânicos comercializados no Entre Douro e Minho. Revista de Ciências Agrárias, Vol., 32, nº1, 284-297.
- Osborne, S. L., Schepers, J. S., Francis, D. D., Schlemmer, M. R. 2002. Detection of Phosphorus and Nitrogen Deficiencies in Corn Using Spectral Radiance Measurements. Agronomy Journal, Vol. 94, Nº. 6, 1215-1221.
- Ouda, B. A., Mahadeen, A. Y. 2008. Effect of fertilizers on growth, yield, yield components, quality and certain nutrient contents in broccoli (*Brassica oleracea*). International Journal of Agriculture & Biology, 10: 627-632.
- Pang, X. P., Letey, J. 2000. Organic farming: challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. Soil Science Society of America Journal. 64: 247-253.
- Paul, E. A., Clark, F. E. 1996. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press, San Diego, 340 pp.
- Peruzzo, G., Pottker, D., Wietholter, S. 1997. Avaliação da eficiência agronômica dos fosfatos naturais reactivos de Arad e de Gafsa. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBCS, 1 CDROM.
- Pôrto, M. L., Alves, J. D., Sousa, A. P., Araújo, R. D., Arruda, J. A. 2008. Nitrate production and accumulation in lettuce as affected by mineral Nitrogen supply and organic fertilization. Horticultura Brasileira, 26: 227-230.
- Poudel, D. D., Horwath, W. R., Lanini, W. T., Temple, S. R., Bruggen, A. H. C. 2002. Comparison of soil N availability and leaching potential, crop yields and weeds in organic, low-input and conventional farming systems in northern California. Agric. Ecosyst. Environ., 90: 125-137.
- Powlson, D.S., Smith, P., Coleman, K., Smith, J. U., Glendining, M. J., Körschens, M., Franko, U. 1998. A European network of longterm sites for studies on soil organic matter. Soil Tillage Res. 47:263-274.

- Pradhan, S. K., Nerg, A.-M., Sjoblom, A., Holopainen, J. K., Heinonen-Tanski, H. 2007. Use of human urine fertilizer in cultivation of Cabbage (*Brassica oleracea*)-impacts on chemical, microbial, and flavor quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 8657-8663.
- Radics, L., Pusztai, P., Biró, B., Biró, Z., Németh, T., Monori, I. 2008. Element composition and quality of lettuce (*Lactuca sativa* var. Biweri), grown with sheep-manure composts. 16<sup>th</sup> IFOAM Organic World Congress, June 16-20, Modena, Italy, 4 pp.
- Raij, B. van, Cabala-Rosand, P., Lobato, E. 1982. Adubação fosfatada no Brasil apreciação geral, conclusões e recomendações. In: Oliveira, A., Lourenço, S., Goedert, W.J. (Ed.). Adubação fosfatada no Brasil. Brasília: EMBRAPA, DID, 9-28.
- Rasmussen, P. E., Goulding, K. W. T., Brown, J. R., Grace, P. R., Janzen, H. H., Körschens, M. 1998. Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change, *Science* 282, 893–896.
- Raviv, M., Medina, S., Krasnovsky, A., Ziadna, H. 2004. Organic matter and nitrogen conservation in manure compost for organic agriculture. *Compost Sci. Utiliz.*, 12 (1), 6-10.
- Rees, R. M., Yan, L., Ferguson, M. 1993. The release and plant uptake of nitrogen from some animal manures, *Biol Fertil Soils* 15: 285-293.
- Reeves, D. W. 1997. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil and Tillage Research* 43: 131-167.
- Reinikainen, O., Herranen, M. 2001. Different methods for measuring compost stability and maturity. *Acta Horticulturae*. (ISHS) 549: 99-104.
- Reinink, K. 1991. Genotype x environment interaction for nitrate concentration in lettuce. *Plant breeding* 107: 39-49.
- Rodrigues, M. Â., Coutinho, J. F. 1995. Eficiência de utilização do azoto pelas plantas. *Serie Estudos*, Instituto Politécnico de Bragança, 48 pp.
- Rodrigues, M. Â., Pereira, J. A., Arrobas, M., Andrade, P. B., Bento, A. 2009. Resposta da couve Tronchuda (*Brassica oleracea* var. *costata*) à aplicação de azoto e boro e de um fertilizante orgânico autorizado em Agricultura Biológica. *Revista de Ciências Agrárias*, Vol. 32, nº1, 93-100.
- Rohner-Thielen, E. 2010. Agriculture and fisheries. EUROSTAT – Statistics in focus, 12 pp.
- Sample, E. C., Soper, R. J., Racz, G. J. 1980. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: Khasawneh, F. E. (Ed.). *The Role of Phosphorus in Agriculture*. American Society of Agronomy, Madison, WI, 263–304.
- Santos, J.Q. 2001. Fertilização e Ambiente – Reciclagem Agro-Florestal de Resíduos e Efluentes. *Coleções Euroagro*, Publicações Europa-América, 261 pp.
- Santos, J. Q. 2002. Fertilização – Fundamentos da utilização dos adubos e correctivos. 3ª Edição, *Coleção Euroagro*, Publicações Europa-América. 548 pp.
- Sarmiento, P., Corsi, M., Campos, F. P. 2002. Eficiência do fosfato natural de Gafsa associado à calagem e gesso e sintomas nutricionais da alfafa, *Medicago sativa* L. *Acta Scientiarum*, Maringá, V. 24, nº4, 1155-1161.

- Schachtman, D. P., Reid, R. J., Ayling, S. M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, 116: 447–453.
- Schmid, O., Dabbert, S., Eichert, C., Gonzálvez, V., Lampkin, N., Michelsen, J., Slabe, A., Stokkers, R., Stolze, M., Stopes, C., Wollmuthová, P., Vairo, D., Zanolli, R. 2008. Organic action plans: Development, implementation and evaluation. A resource manual for the organic food and farming sector. FIBL/IFOAM, Research Institute of Organic Agriculture/International Federation of Organic Agriculture Movements, 114 pp.
- Scow, K. M., Somasco, O., Gunapala, N., Lau, S., Venette, R., Ferris, H., Miller, R., Shennan, C. 1994. Transition from conventional to low-input agriculture changes soil fertility and biology. *California Agriculture*. 48: 20-26.
- Shiralipour, A., McConnel, D. B., Smith, W. H. 1992. Physical and chemical properties of soil as affected by municipal solid waste compost application. *Biomass Bioenergy* 3 (1992), 195-211.
- Sikora, L. J., Szmids, R. A. K. 2001. Nitrogen sources, mineralization rates, and nitrogen nutrition benefits to plants from composts. In: Stoffella, P. J., Kahn, B. A. (Eds.) *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 287-305.
- Silva, F. C. 1999. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. EMBRAPA Solos / Informática Agropecuária, Rio de Janeiro, Campinas, 370 pp.
- Sims, J. T. 1995 - Organic Wastes as Alternative Nitrogen Sources. In: Peter Edward Bacon (Ed.). *Nitrogen Fertilization in the Environment*, Marcel Dekker, Inc. 487-536.
- Sims, J. T., Edwards, A.C., Schoumans, O. F., Simard, R. R. 2000. Integrating soil phosphorus testing into environment based agricultural management practices. *Journal of Environment Quality*, 29: 60-71.
- Sinclair, T.R., Vadez, V. 2002. Physiological traits for crop yield improvement in low N and P environments. *Plant Soil* 245: 1–15.
- Smith, L., Padel, S., Pearce, B. 2011. Soil carbon sequestration and organic farming: an overview of current evidence. Organic Research Centre, Elm Farm, Hamstead Marshall, Newbury, Berkshire, Wales, 14 pp.
- Smith, S. E., Read, D. J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd Edition. Academic Press, San Diego.
- Smith, S. E., Read, D. J. 2008. *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd Edition. Academic, London.
- Soares, W. V., Lobato, E., Sousa, D. M. G., Rein, T. A. 2000. Avaliação do fosfato de Gafsa para a recuperação de pastagem degradada em latossolo vermelho-escuro. *Pesq. Agropec. Bras. Brasília*, V. 35, nº4, 819-825.
- Sorensen, J. N. 1999. Nitrogen effects on vegetable crop production and chemical composition. *Acta Hort.* 506: 41-49.
- Sousa, C., Pereira, D. M., Pereira, J. A., Bento, A., Rodrigues, M. A., Dopico-Garcia, S., Valentão, P., Lopes, G., Ferreres, F., Seabra, R. M., Andrade, P. B. 2008. Multivariate analysis of Tronchuda Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *costata* DC)



- phenolics: influence of fertilizers. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 56: 2231-2239.
- Stevenson, F. J. 1986. *Cycles of Soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients*. John Wiley & Sons, New York, 380 pp.
- Stolze, M., Piore, A., Haring, A., Dabbert, S. 2000. *The Environmental Impacts of Organic Farming in Europe*. University of Hohenheim Department of Farm Economics, Stuttgart, Vol. 6, 127 pp.
- Sturma, M., Kacjan-Marsic, N., Zupanc, V., Bracic-Zeleznik, B., Lojen, S., Pintar, M. 2010. Effect of different fertilisation and irrigation practices on yield, nitrogen uptake and fertiliser use efficiency of white cabbage (*Brassica oleracea* var. capitata L.). *Scientia Horticulturae* 125: 103–109.
- Sylvia, D. M., Neal, L. H. 1990. Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. *New Phytol* 115: 303–310.
- Teixeira, T., Katrochan, K., Varennes, A., Martins, J. N., Stuetzel, H. 2010. O uso da semente de tremço como fertilizante azotado. *Rev. de Ciências Agrárias*, vol.33, no.2, 118-133.
- Thorup-Kristensen, K. 2006. Effect of deep and shallow root systems on the dynamics of soil inorganic N during 3-year crop rotations. *Plant Soil*, 288: 233–248.
- Thorup-Kristensen, K., Cortasa, M. S., Loges, R. 2009. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant Soil*, 322: 101-114.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671–677.
- Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y. 2000. Fate of nitrogen during composting of chicken litter. *Environ. Pollution*, 110: 535-541.
- Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D. 1985. *Soil Fertility and Fertilizers*. 4<sup>a</sup> ed., Macmillan Publishing Company, New York, 754 pp.
- Trani, P. E., Raij, B. van. 1996. Hortaliças. In: Raij, B. van, Cantarella, H., Quaggio, J. A., Furlani, A. M. C. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de S. Paulo*. Instituto Agronômico, Fundação IAC, 2<sup>a</sup> Edição, Campinas, 157- 185.
- Trani, P. E., Minami, K., van Raij, B., Sakai, E., Mello, S. C., Tivelli, S. W. 2006. Calagem em cultivos sucessivos de alface e cenoura. *Horticultura Brasileira*, V. 24, nº 1, 59-64.
- Varennes, A. 2003. *Produtividade dos solos e ambiente*. Escolar Editora, 490 pp.
- Venter, F., Fritz, P. D. 1979. Nitrate contents of Kohlrabi (*Brassica oleracea* var. *gongylodes* Lam.) as influenced by fertilization. *Qual. Plant. – Pl. Fds. Hum. Nutr.* XXIX, 1-2: 179-186.
- Verdonck, O. 1998. Compost specifications. *Acta Hort.*, 469: 169-178.
- Vila, P., Andriano, A., Montoro, P., Morte, A., Honrubia, A. 2008. Efecto del uso de hongos endomicorrícicos arbusculares sobre el cultivo de apio (*Apium graveolens* L.). VII Congreso SEAE Bullas, Murcia, 10 pp.

- Vilão, R., Venâncio, C., Sousa, A., Gervásio, I., Liberal, P., Carvalho, T. 2010. Relatório do estado do ambiente 2009. Agencia Portuguesa do Ambiente, Amadora, 196 pp.
- Watson, C.A., Fowler, S. M., Wilman, D. 1993. Soil inorganic-N and nitrate leaching on organic farms. *J Agric Sci.* 120: 361–369.
- Weigel, A., Klimanek, E. M., Körschens, M., Mercik, S. 1998. Investigations of carbon and nitrogen dynamics in different long-term experiments by means of biological soil properties. In: Lal, R., Kimble, J. M., Follett, R. F., Stewart, B. A. (Eds.). *Soil processes and the carbon cycle*. CRC, Boca Raton, 335–344.
- Wen, G., Winter, J. P., Voroney, R. P., Bates, T. E. 1997. Potassium availability with application of sewage sludge, and sludge and manure composts in field experiments. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 47: 233-241.
- Westerveld, S. M., McDonald, M. R., Scott-Dupree, C. D. 2003. Optimum nitrogen fertilization of summer cabbage in Ontario. In: Tremblay, N. (Ed.). *Proc. XXVI IHC – Fertilization Strategies for Field Veg. Prod.*, ISHS, Acta Hort. 627, 211-215.
- Wiederholt, R., Jonhson, B. 2005. Nitrogen behavior in the environment. North Dakota State University, Fargo, 4 pp.
- Wilson, J. B. 1987. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models. *Annals of Botany*, 61: 433-449.
- Witzell, J., Shevtsova, A. 2004. Nitrogen-induced changes in phenolics of *Vaccinium myrtillus* simplifications for interaction with a parasitic fungus. *J. Chem. Ecol.*, 30: 1937–1956.
- Wong, J. W. C., Ma, K. K., Fang, K. M., Cheung, C. 1999. Utilization of a manure compost for organic farming in Hong Kong. *Bioresource Technology*, 67: 43–46.
- Yun, S., Ro, H. 2009. Natural  $^{15}\text{N}$  abundance of plant and soil inorganic-N as evidence for over-fertilization with compost. *Soil Biology & Biochemistry* 41: 1541–1547.
- Zaller, J. G., Kopke, U. 2004. Effects of traditional biodynamic farmyard manure amendment on yield, soil chemical, biochemical and biological properties in a long term field experiment. *Biology and Fertility of Soils*, 40: 222-229.
- Zucconi, F., Bertoldi, M. 1987. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In: *Compost: production, quality and use*. Bertoldi, M., Ferranti, M. P., L'Hermite, P., Zucconi F. (Eds.). Elsevier Applied Science, London, 30-50.